



**Anita Raquel Fontoura Flambó**

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

## **Avaliação do Desempenho Térmico da Fachada dum Edifício de Escritórios Durante a Estação de Arrefecimento**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil – Perfil de Construção**

Orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei  
Faculdade de Ciências e Tecnologia,  
Universidade Nova de Lisboa

Júri:

Presidente: Doutora Maria da Graça Neves

Arguente: Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira  
Rato

Vogal: Doutor Daniel Aelenei



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Dezembro, 2017**



***Avaliação do Desempenho Térmico da Fachada dum Edifício de Escritórios Durante a Estação de Arrefecimento***

Copyright © Anita Raquel Fontoura Flambó, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **AGRADECIMENTOS**

A presente dissertação foi realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil, no Perfil de Construção, na Faculdade de Ciências e Tecnologia, da Universidade Nova de Lisboa. Este trabalho foi realizado na Reitoria da Universidade Nova de Lisboa.

Em primeiro lugar, agradeço ao Professor Doutor Daniel Aelenei, orientador da presente dissertação, pela oportunidade que me deu, pela confiança que mostrou ter em mim para levar a cabo este estudo e pelo esforço para dar início ao estudo que foi realizado na Reitoria. Em seguida agradeço ao Professor Válder Lúcio, pela amabilidade com que acolheu o meu pedido para o desenvolvimento do presente trabalho, assim como a disponibilidade em providenciar os contactos necessários. Em seguida, agradeço à Engenheira Patrícia Ferreira, ao Arquitecto David Maranha e à Arquitecta Carla Curado pois foram um grande apoio durante os ensaios in situ, mostrando disponibilidade para o fornecimento de documentos e orientação durante os ensaios.

Não posso deixar de agradecer aos amigos e colegas que me acompanharam durante todo o período académico e que foram a minha grande força para não desistir quando o caminho parecia ser impossível de percorrer. Ao João pelas horas de paciência e de motivação, pelos conselhos nas alturas mais difíceis e pelo apoio incondicional.

Por fim, e também o mais importante, agradeço aos meus pais e aos meus irmãos por todo o suporte e carinho que me deram em todo este percurso, e pelo acompanhamento e preocupação.

Sem este conjunto de pessoas teria com certeza sido mais difícil.



## RESUMO

A crescente tendência da utilização do vidro na construção torna ainda mais importante a escolha cuidada das soluções para os vãos envidraçados, como é o caso de edifícios de escritórios com fachadas envidraçadas.

O presente estudo tem como objetivo principal a análise do comportamento térmico de um edifício de escritórios situado na zona de Lisboa. Analisaram-se dois gabinetes em que o primeiro tem uma fachada envidraçada orientada a sul e o outro tem vãos envidraçados orientados a poente caracterizado por ter fachada de dupla pele. A metodologia para análise do comportamento térmico foi desenvolvida em três fases de estudo. A primeira fase passou pela realização e distribuição de questionários de preenchimento individual abrangendo um total de 48 utentes. Na segunda fase de estudo, realizaram-se medições de temperatura interior e exterior [°C], de temperaturas superficiais [°C] e de fluxo de calor [kWh/m<sup>2</sup>] e humidade relativa ambiente interior [%]. A última fase de estudo consistiu na modelação dos compartimentos alvo de monitorização com o software *EnergyPlus*. Os resultados obtidos na sequência das três fases de estudo apontam para níveis elevados de temperatura no interior dos compartimentos obtendo valores maiores quando a fachada é exposta a sul e para uma dependência do uso de sistemas de climatização de forma a alcançar o conforto térmico interior.

**Palavras-Chave:** comportamento térmico, fachada dupla pele, monitorização, edifícios de escritório





## ABSTRACT

The growing trend towards the use of glass in construction makes it even more important to choose carefully solutions for glazed openings, such as office buildings with glazed facades.

The present study has as main objective the analysis of the thermal behaviour of an office building located in the Lisbon area. Two cabinets were analysed in which the first one has a glazed façade oriented to south and the other has glazed openings orientated to west characterized by a double skin facade. The methodology for thermal behaviour analysis was developed in three phases of study. The first phase included the realization and distribution of surveys of individual fulfilment covering a total of 48 users. In the second study phase, measurements of indoor and outdoor temperature [ $^{\circ}$  C], surface temperatures [ $^{\circ}$  C] and heat flow [kWh / m<sup>2</sup>] and indoor relative humidity [%] were performed. The last phase of the study consisted in the modelling of the target monitoring compartments with the EnergyPlus software. The results obtained in the sequence of the three study phases point to high temperature levels inside the compartments, obtaining higher values when the façade is exposed to south and for a dependence on the use of air conditioning systems in order to achieve the interior thermal comfort.

**Key-Words:** thermal behaviour, double skin façade, monitoring, office buildings



## ÍNDICE DE CONTEÚDOS

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO TEMA.....	13
1.2. OBJETIVOS.....	14
1.3. METODOLOGIA DE TRABALHO.....	14
<b>2. ESTADO DE CONHECIMENTO.....</b>	<b>17</b>
2.1. FACHADAS ENVIDRAÇADAS EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO.....	19
2.2. CONCEITOS TEÓRICOS.....	20
2.2.1. <i>Conforto Térmico Humano</i> .....	21
2.2.2. <i>Orientação Solar e Características da Envolvente Não Opaca</i> .....	23
2.2.3. <i>Fator Solar</i> .....	24
<b>3. APRESENTAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO .....</b>	<b>25</b>
3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO CLIMA EM LISBOA.....	25
3.2. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO .....	26
3.3. CASO DE ESTUDO 1: GABINETE 5.05/5.06.....	29
3.4. CASO DE ESTUDO 2: GABINETE 6.16.....	31
<b>4. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO.....</b>	<b>33</b>
4.1. ORGANIZAÇÃO DO QUESTIONÁRIO .....	34
4.2. ANÁLISE DE RESULTADOS .....	35
<b>5. ANÁLISE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>43</b>
5.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	43
5.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS .....	45
5.2.1. <i>Data Logger <math>\Delta T</math> DL2e</i> .....	45
5.2.2. <i>Fluxímetro Hukseflux</i> .....	47
5.2.3. <i>Termopar</i> .....	47
5.2.4. <i>Sensor de <math>CO_2</math></i> .....	48
5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS .....	49
5.4. CASO DE ESTUDO 2: GABINETE 6.16.....	59
5.4.1. <i>Procedimento experimental</i> .....	59
5.4.2. <i>Análise de resultados</i> .....	61
<b>6. MODELAÇÃO.....</b>	<b>71</b>
6.1. CARACTERIZAÇÃO DE VÃO ENVIDRAÇADOS EM WINDOW 7.4 .....	71
6.1.1. <i>Gabinete 5.05/5.06</i> .....	71
6.1.2. <i>Gabinete 6.16</i> .....	72

6.2. MODELAÇÃO EM ENERGYPLUS.....	73
6.2.1. <i>Building</i> .....	73
6.2.2. <i>Schedule</i> .....	73
6.2.3. <i>Construction</i> .....	74
6.2.4. <i>Window Material: Glazing</i> .....	75
6.2.5. <i>Building Surface</i> .....	76
6.2.6. <i>Outputs: Surface: Drawing</i> .....	77
6.2.7. <i>Output: Variable</i> .....	78
6.3. ANÁLISE DE RESULTADOS: GABINETE 5.05/5.06 .....	79
6.4. ANÁLISE DE RESULTADOS: GABINETE 6.16.....	80
<b>7. CONCLUSÕES FINAIS .....</b>	<b>83</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>88</b>
MODELO DO QUESTIONÁRIO REALIZADO NA REITORIA DA UNL .....	88
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>93</b>
FLUXO DE CALOR E TEMPERATURAS SUPERFICIAIS – MONITORIZAÇÃO <i>LOGGER DELTA T</i> [GABINETE 5.05/5.06] .....	93
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>95</b>
CÁLCULO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS E RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS [GABINETE 5.05/5.06].....	95
<b>ANEXO 4 .....</b>	<b>98</b>
FLUXO DE CALOR E TEMPERATURAS SUPERFICIAIS – MONITORIZAÇÃO <i>LOGGER DELTA T</i> [GABINETE 6.16].....	98
<b>ANEXO 5 .....</b>	<b>100</b>
CÁLCULO DAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS E RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS [GABINETE 6.16] .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - SEAGRAM, NOVA IORQUE; FREEDOM TOWER, NOVA IORQUE.....	19
FIGURA 2 - EDIFÍCIO DA DB TRANSPORTES, BERLIM, ALEMANHA; EDIFÍCIO DOS ESCRITÓRIOS DA MERCEDES, BERLIM, ALEMANHA ..	19
FIGURA 3 - EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIOS, PEQUIM, CHINA .....	20
FIGURA 4 - EDIFÍCIO DEIMOS, LISBOA, PORTUGAL; EDIFÍCIO CAMPUS DE JUSTIÇA, LISBOA, PORTUGAL. ....	20
FIGURA 5-HUMIDADE RELATIVA DE REFERÊNCIA, ASHRAE STANDARD 160.....	23
FIGURA 6 - PENETRAÇÃO DA RADIAÇÃO EM JANELA DUPLA .....	24
FIGURA 7 - NÚMERO DE DIAS SEM CHUVA EM LISBOA, PORTUGAL [1960-2016] .....	25
FIGURA 8 - TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS EXTERIOR MENSIS EM LISBOA, PORTUGAL.....	26
FIGURA 9 - LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DA REITORIA DA UNL, CAMPOLIDE, PORTUGAL [15].....	27
FIGURA 10 - FACHADA POENTE DA REITORIA DA UNL, CAMPOLIDE, PORTUGAL.....	27
FIGURA 11 - PLANTA PISO 6 DO EDIFÍCIO DA REITORIA DA UNL, CAMPOLIDE, PORTUGAL .....	28
FIGURA 12 - FACHADA NORTE (À ESQUERDA), FACHADA SUL (AO MEIO) CORREDOR INTERIOR (À DIREITA) DO EDIFÍCIO DA REITORIA, CAMPOLIDE, PORTUGAL .....	28
FIGURA 13 - PORMENOR CONSTRUTIVO FACHADA VENTILADA – CORTE VERTICAL, ORIENTAÇÃO OESTE.....	29
FIGURA 14- PORMENOR CONSTRUTIVO DO VÃO ENVIDRAÇADO DE FACHADA DUPLA PELE DO GABINETE 5.05/5.06 8À DIREITA) .....	30
FIGURA 15 - ALÇADO POENTE GABINETE 5.05/5.06 (À ESQUERDA); .....	30
FIGURA 16-PORMENOR CONSTRUTIVO DO VÃO ENVIDRAÇADO DO GABINETE 6.16 .....	31
FIGURA 17 - CORTE POENTE DO GABINETE 6.16 (À ESQUERDA) .....	32
FIGURA 18 - ESCALA DE SENSações PARA NÍVEIS DE CONFORTO COM BASE NA AVALIAÇÃO ASHRAE .....	33
FIGURA 19 - CONDIÇÕES EXTERIOR AMBIENTAIS DURANTE O PREENCHIMENTO DOS QUESTIONÁRIOS .....	36
FIGURA 20 - VALORES COMPARATIVOS ENTRE AS TEMPERATURAS DO AR INTERIOR (TAI) E AS TEMPERATURAS DO AR EXTERIOR (TAE) DURANTE O PREENCHIMENTO DOS QUESTIONÁRIOS [°C] .....	36
FIGURA 21 - REGISTO DE VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO NO AR INTERIOR [PPM] .....	37
FIGURA 22 - PERCENTAGEM DE PESSOAS AFETAS AO QUESTIONÁRIO - SEXO (À ESQUERDA), IDADE (À DIREITA).....	38
FIGURA 23 - RESULTADOS OBTIDOS PARA A SECÇÃO 2 "OPINIÃO GERAL SOBRE O EDIFÍCIO" .....	39
FIGURA 24 - RESULTADOS OBTIDOS NA QUESTÃO "QUAL O NÍVEL DE CONTROLO QUE EXERCE SOBRE OS SEGUINTEs ASPETOS NO INTERIOR DO ESPAÇO DE TRABALHO?" .....	39
FIGURA 25 - RESULTADOS OBTIDOS NA QUESTÃO SOBRE A LOCALIZAÇÃO DO ESPAÇO DE TRABALHO.....	40
FIGURA 26 - RESULTADOS OBTIDOS NA PERGUNTA 4.2. "NESTE MOMENTO, COMO CLASSIFICA O NÍVEL DE CONFORTO TÉRMICO A QUE ESTÁ SUJEITO? [-3 MUITO FRIO, 3 MUITO QUENTE] .....	40
FIGURA 27- RESULTADOS OBTIDOS NA PERGUNTA 4.3. "NO VERÃO, COMO CLASSIFICA O NÍVEL DE CONFORTO TÉRMICO A QUE ESTÁ SUJEITO?" [-3 MUITO FRIO, 3 MUITO QUENTE] .....	41
FIGURA 28- RESULTADOS OBTIDOS NA PERGUNTA 4.4. "NO INVERNO, COMO CLASSIFICO O NÍVEL DE CONFORTO TÉRMICO A QUE ESTÁ SUJEITO?" [-3 MUITO FRIO, 3 MUITO QUENTE] .....	41
FIGURA 29 - ACOPLAÇÃO DE FIOS TERMOPARES.....	43
FIGURA 30 - FIXAÇÃO DOS TERMOPARES E DO FLUXÍMETRO NO GABINETE 5.05/5.06.....	44

FIGURA 31 - DATA LOGGER DELTA T.....	45
FIGURA 32 - DL2 PROGRAM EDITOR.....	46
FIGURA 33 - DL2 CONTROL PANEL.....	46
FIGURA 34 - FLUXÍMETRO Hukseflux Thermal Sensors.....	47
FIGURA 35 - FUNCIONAMENTO DO TERMOPAR, EFEITO SEEBECK [22].....	48
FIGURA 36 - SENSOR TEL-7001, MEDIDOR DE TEMPERATURA DO AR [°C] E DE DIÓXIDO DE CARBONO [PPM].....	48
FIGURA 37 - HOBO U12-13, MEDIDOR DE HUMIDADE RELATIVA DO AR [%].....	49
FIGURA 38 - CONCENTRAÇÃO DE CO2 INTERIOR, GABINETE 505/506.....	50
FIGURA 39 - EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS MONITORIZADOS DO GABINETE 505/506 DURANTE O PERÍODO DE 17 DE JULHO A 21 DE JULHO. ....	51
FIGURA 40 - EVOLUÇÃO DA TAI E DA TAE; HUMIDADE RELATIVA INTERIOR [18/07/2017].....	52
FIGURA 41 - EVOLUÇÃO DA TAI E DA TAE; HUMIDADE RELATIVA INTERIOR [20/07/2017].....	52
FIGURA 42 - ESQUEMA DA IMPLANTAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO: PLANTA DO GABINETE 5.05/5.06 (LADO ESQUERDO), ALÇADO POENTE (LADO DIREITO).....	53
FIGURA 43 - PERÍODO ESTACIONÁRIO [18/07/2017], GABINETE 5.05/5.06.....	54
FIGURA 44 - PERÍODO ESTACIONÁRIO [20/07/2017], GABINETE 5.05/5.06.....	55
FIGURA 45 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DO GABINETE 5.05/5.06 [18/07/2017].....	57
FIGURA 46 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS DO GABINETE 5.05/5.06 [20/07/2017].....	57
FIGURA 47 - INÍCIO DE MONITORIZAÇÃO: PROCEDIMENTO E FIXAÇÃO DOS TERMOPARES E DO FLUXÍMETRO NO GABINETE 6.16.....	60
FIGURA 48 - CONCENTRAÇÃO DE CO2 INTERIOR.....	62
FIGURA 49 - TAI COMPARATIVAMENTE COM A TAE; HUMIDADE RELATIVA INTERIOR.....	62
FIGURA 50 - TAI COMPARATIVAMENTE COM A TAE; HUMIDADE RELATIVA INTERIOR [22/08/2017].....	63
FIGURA 51 - TAI COMPARATIVAMENTE COM A TAE; HUMIDADE RELATIVA INTERIOR [24/08/2017].....	63
FIGURA 52 - PLANTA DE PONTOS DE FIXAÇÃO PARA MONITORIZAÇÃO, GABINETE 6.16.....	64
FIGURA 53 - ALÇADO DE PONTOS DE FIXAÇÃO PARA MONITORIZAÇÃO, GABINETE 6.16.....	65
FIGURA 54 - PERÍODO ESTACIONÁRIO [22/08/2017], GABINETE 6.16.....	66
FIGURA 55 - PERÍODO ESTACIONÁRIO [24/08/2017].....	66
FIGURA 56 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS GABINETE 6.16 [22/08/2017].....	68
FIGURA 57 - TEMPERATURAS SUPERFICIAIS GABINETE 6.16 [24/08/2017].....	68
FIGURA 58 - MODELAÇÃO GEOMÉTRICA DO VÃO ENVIDRAÇADO, GABINETE 5.05/5.06, WINDOW 7.4.....	72
FIGURA 59 - MODELAÇÃO GEOMÉTRICA DO VÃO ENVIDRAÇADO, GABINETE 6.16, WINDOW 7.4 SOFTWARE.....	72
FIGURA 60 - PARÂMETRO BUILDING - ENERGYPLUS SOFTWARE.....	73
FIGURA 61 - PARÂMETRO SCHEDULE - ENERGYPLUS SOFTWARE.....	74
FIGURA 62 - PARÂMETRO CONSTRUCTION - ENERGYPLUS SOFTWARE, GABINETE 5.05/5.06.....	75
FIGURA 63 - PARÂMETRO CONSTRUCTION - ENERGYPLUS SOFTWARE, GABINETE 6.16.....	75
FIGURA 64 - PROCESSO DE ORIENTAÇÃO PARA MODELAÇÃO GEOMÉTRICA EM ENERGYPLUS SOFTWARE (GABINETE 5.05/5.06 À ESQUERDA, GABINETE 6.16 À DIREITA).....	76
FIGURA 65 - PARÂMETRO BUILDING SURFACE - ENERGYPLUS SOFTWARE (ZONAS OPACAS, GABINETE 6.16).....	76
FIGURA 66 - PARÂMETRO BUILDING SURFACE - ENERGYPLUS SOFTWARE (ZONAS ENVIDRAÇADAS, GABINETE 5.05/5.06).....	77
FIGURA 67 - PARÂMETRO OUTPUT - MODELO 3D EM AUTOCAD, GABINETE 5.05/5.06.....	77
FIGURA 68 - PARÂMETRO OUTPUT - MODELO 3D EM AUTOCAD, GABINETE 6.16.....	78
FIGURA 69 - PARÂMETRO OUTPUT.....	78

FIGURA 70 - RESULTADOS <i>ENERGYPLUS</i> : FLUXO DE CALOR, TAE E TAI [SEM AVAC, GABINETE 5.05/5.06] .....	79
FIGURA 71 - RESULTADOS <i>ENERGYPLUS</i> : FLUXO DE CALOR, TAE E TAI [COM AVAC, GABINETE 5.05/5.06].....	79
FIGURA 72 - RESULTADOS <i>ENERGYPLUS</i> : FLUXO DE CALOR, TAE E TAI [SEM AVAC, GABINETE 6.16].....	80
FIGURA 73 - RESULTADOS <i>ENERGYPLUS</i> : FLUXO DE CALOR, TAE E TAI [COM AVAC, GABINETE 6.16] .....	81

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - METABOLISMO HUMANO [10] .....	22
TABELA 2 - GABINETES ABRANGIDOS NA ELABORAÇÃO DE QUESTIONÁRIOS.....	37
TABELA 3- EXEMPLOS DE VALOR RECOMENDADOS DE CONCENTRAÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO PARA VALORES ACIMA DA CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS NO AR EXTERIOR .....	38
TABELA 4 - TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS INTERIORES E EXTERIOR, GABINETE 5.05/5.06 [17/07/2017 - 21/07/2017]..	50
TABELA 5 - DIMENSÕES PARA O CALOR DO FLUXO DE CALOR ATRAVÉS DO NÚMERO DE RALEIGH .....	56
TABELA 6 - VALORES COMPARATIVOS ENTRE O FLUXO DE CALOR MEDIDO IN SITU [Q MEDIDO IN SITU] E O CALCULADO ATRAVÉS DO NÚMERO DE RALEIGH [Qc] PARA O DIA 18/07/2017 (À ESQUERDA) E PARA O DIA 20/07/2017 (À DIREITA).....	59
TABELA 7- TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS INTERIORES E EXTERIOR, GABINETE 6.16 [21/08/2017 - 25/08/2017].....	61
TABELA 8 - DIMENSÕES CONSIDERADAS PARA CÁLCULOS.....	67



## 1. INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo recai sobre as motivações que levaram a desenvolver o estudo, assim como, o enquadramento do tema. Serão apresentados os objetivos do documento e uma apresentação de como foi organizado o documento e o desenvolvimento dos trabalhos.

### 1.1. MOTIVAÇÃO E ENQUADRAMENTO DO TEMA

A principal motivação para o desenvolvimento do presente estudo foi o interesse em estudar as consequências do aumento da área envidraçada nos edifícios no geral no que respeita ao seu desempenho térmico. A recente evolução da sociedade, assim como, da tecnologia e do poder de desenvolvimento técnico e científico, bem como a preocupação ambiental ou a redução do uso de recursos naturais, fez despoletar diversas medidas no que diz respeito à otimização do desempenho térmico dos edifícios, nomeadamente edifícios de escritórios.

Os vãos têm um papel fundamental no desempenho energético dos edifícios na medida em que funcionam com regulador da quantidade de luz [1] e calor que incide na fachada dos edifícios. Ou seja, à medida que a área envidraçada aumenta, aumentam os ganhos provenientes do exterior criando um aumento da temperatura interior, como acontece durante a estação de aquecimento. Na estação de arrefecimento, o efeito é contrário uma vez que a área envidraçada aumenta a possibilidade de perdas de calor para o exterior fazendo diminuir a temperatura no interior, uma vez que os envidraçados são responsáveis por cerca de 40% das perdas de calor nos edifícios. Os efeitos observados em ambas as estações, aumentam a probabilidade de desconforto dos utentes. Assim, é importante criar um equilíbrio entre a quantidade de luz natural e os valores de perdas e de ganhos de calor para cada uma das estações do ano.

Contudo, e até ao século XX, o vidro era um material de elevado custo de fabrico. À medida que as técnicas para o fabrico do mesmo e para os elementos que o suportam e.g. molduras, dispositivos para fixação ou materiais de selagem plásticos e elastoplásticos, melhoraram, surgiram inúmeras soluções inovadoras tanto para o vidro como para os seus sistemas passivos e ativos. Em meados do século XIX, os primeiros arranha-céus em estrutura metálica foram construídos possibilitando o aumento da área de envidraçado. Assim, a partir do século XX deu-se origem a novos tipos de vidro com novas características, possibilitando a sua aplicação em fachadas, em maior número e maior área. Houve então a necessidade de implementar sistemas de climatização mecânicos, que tiveram a sua origem no

início do séc. XX nos EUA – inicialmente em edifícios de grande altura [2] – registando um maior desenvolvimento após o final da segunda guerra mundial.

Relativamente ao clima português, as necessidades de aquecimento ou arrefecimento conforme se trate do inverno ou do verão, são facilmente otimizadas se houver a preocupação na escolha correta da orientação das fachadas, do dimensionamento das áreas envidraçadas e da ventilação natural. Foi este o fator fulcral para o estudo do tema da presente dissertação.

## **1.2. OBJETIVOS**

O principal objetivo deste trabalho consiste na análise de um edifício de escritórios com fachadas envidraçadas com fim à avaliação do comportamento térmico durante a estação de arrefecimento, englobando o período noturno e diurno de uma semana laboral.

Como objetivos secundários estudaram-se temperaturas superficiais dos envidraçados e do ar interior, níveis de humidade relativa do ar no interior dos compartimentos e níveis de dióxido de carbono.

## **1.3. METODOLOGIA DE TRABALHO**

O presente estudo foi elaborado de forma a estar repartido em 3 fases:

- ✓ Fase 1: recolha de informação através da distribuição de questionários no local, abrangendo o máximo de trabalhadores do edifício;
- ✓ Fase 2: recolha de dados através de ensaios in situ com o objetivo de obter informação acerca das condições higrotérmicas de dois gabinetes com características diferentes;
- ✓ Fase 3: modelação de comportamento térmico, recorrendo ao software *EnergyPlus*, com o objetivo de estudar em pormenor as condições de conforto interior recorrendo a diversas estratégias de utilização.

O documento é constituído por 7 capítulos, organizados da seguinte forma:

- ✓ CAPÍTULO 1: trata-se do presente capítulo. Consiste na introdução apresentando a motivação para a escolha deste tema de trabalho, o enquadramento do tema e o estado da arte.
- ✓ CAPÍTULO 2: consiste na introdução de alguns conceitos teóricos que serão abordados ao longo do trabalho e que foram estudados a partir dos resultados dos ensaios.
- ✓ CAPÍTULO 3: apresentação dos casos de estudo que foram levados a cabo no edifício de escritórios da Reitoria da Universidade Nova de Lisboa. Engloba o “caso de estudo 1” referente ao gabinete 5.05/5.06 situado no piso 5 orientado a oeste; e o “caso de estudo 2” que se refere ao gabinete 6.16, localizado no piso 6, com a fachada principal orientada a sul. Neste capítulo são ainda apresentadas as características do edifício e do clima onde o mesmo se insere.

- ✓ CAPÍTULO 4: apresentação da organização estrutural do questionário. No final deste capítulo apresentam-se os resultados das respostas fornecidas pelos intervenientes e é feita a análise dos mesmos.
- ✓ CAPÍTULO 5: realização de ensaios in situ. Neste capítulo são descritos os equipamentos utilizados na recolha de dados in situ e é apresentado, para cada caso de estudo, o procedimento experimental levado a cabo. Para terminar, analisam-se para cada caso os resultados provenientes dos dados recolhidos pelos equipamentos em questão.
- ✓ CAPÍTULO 6: modelação através do software *WINDOW7.4* no qual foi possível simular o envidraçado de cada um dos gabinetes estudados e obter os valores característicos. Essa informação foi posteriormente introduzida no software *EnergyPlus* juntamente com a modelação geométrica de ambos os gabinetes efetuou-se a análise de resultados para ambos os espaços de trabalho simulando as condições de conforto com e sem a presença de sistema AVAC<sub>1</sub>.
- ✓ CAPÍTULO 7: este capítulo descreve as conclusões retiradas do estudo realizado, fazendo várias comparações entre ambos os gabinetes.

Por fim, o objetivo será o de avaliar as condições de conforto no interior do espaço de trabalho através da avaliação do impacto dos vãos envidraçados, assim como, da área que ocupam na fachada, do tipo de solução construtiva e da orientação solar a que estão expostos.

---

<sub>1</sub> AVAC – Sistema de aquecimento, ventilação e ar condicionado

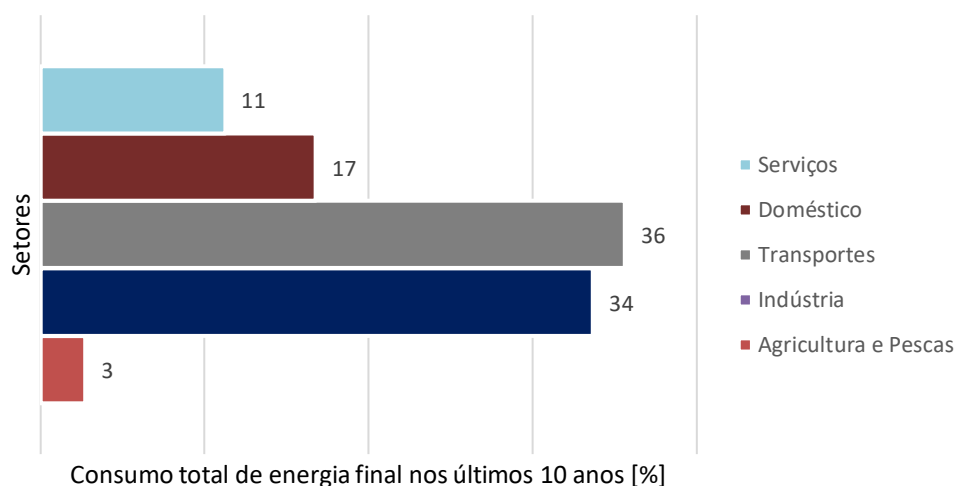


## 2. ESTADO DE CONHECIMENTO

Atualmente e com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabrico de vidro, verifica-se uma maior tendência para combater as necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento do espaço interior criando climas artificiais e com recurso a ventilação artificial [2]. Como consequência, os edifícios de escritório têm frequentemente elevados custos no consumo de energia ao tentar combater as temperaturas interiores devido à deficiente adoção do tipo de vidro constituinte das fachadas envidraçadas.

Cada vez mais as fachadas são dimensionadas como sendo um elemento independente do resto do corpo do edifício, tendo isso uma crescente importância no conforto térmico do mesmo. Deste modo, o bom dimensionamento das fachadas deve focar-se em 4 principais questões: a) a sua função; b) a construção do conjunto fachada-edifício; c) a sua forma e orientação solar; d) o consumo total de energia final [3]. Contudo, optar por uma solução otimizada para as fachadas é um processo bastante complexo, obtendo-se resultados de parâmetros de conforto diferentes para a mesma Solução consoante se enquadre na estação de aquecimento ou de arrefecimento. Assim, é importante que numa primeira instância se adotem soluções passivas para climatização do espaço interior, e ativas quando as passivas forem insuficientes. Além disso é indispensável que esta otimização seja igualmente eficiente em ambas as estações do ano.

Os consumos de energia final em Portugal são repartidos em 5 setores, como mostra a figura seguinte [Figura 1].



**Figura 1** - Consumo total de energia final em Portugal [1995-2015] [4]

Como se pode observar, o sector dos transportes é o que mais energia consome. No entanto, as áreas ligadas ao tema deste estudo, i.e., edifícios pertencentes aos sectores doméstico e serviços, constituem uma parte da energia consumida (28%), tornando-se, pois, imperativo que se otimize o consumo efetuado nessas mesmas áreas. Estes elevados números verificados poderão ser justificados pelo consumo abusivo dos sistemas de climatização devido ao deficiente dimensionamento das Soluções construtivas em função das necessidades de aquecimento ou arrefecimento dos edifícios.

Quando a informação se refere a nível europeu, pode-se constatar que o setor da construção de edifícios é responsável por 36% das emissões de CO<sub>2</sub> da União Europeia e por cerca de 40% do total da energia consumida na UE [5]. Embora o consumo de energia no setor da edificação seja bastante elevado, ao melhorar a eficiência energética dos edifícios, o consumo total de energia da UE reduziria entre 5-6% e as emissões de CO<sub>2</sub> em cerca de 5%.

Perante o panorama descrito, os Estados-membro têm vindo a promover um conjunto de medidas de forma a melhorar o conforto dos edifícios. Estas medidas, em conjunto com a Diretiva 2002/91/CE de 16 de dezembro e da sua reformulação – a Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio – visam melhorar o desempenho energético dos edifícios.

De facto, é importante para o dimensionamento das fachadas dar-se atenção à sua crescente evolução nos últimos anos, como resultado de restrições de oferta de energia para uma redução de custos energéticos. Para tal, existem autores que abordam esta temática [6] e que dispõem de informações sobre algumas das melhores práticas para contribuir para uma minimização de consumos [7], nomeadamente para edifícios não residências como é o caso de edifícios de escritórios [8].

## 2.1. FACHADAS ENVIDRAÇADAS EM EDIFÍCIOS DE ESCRITÓRIO

Quando é avaliado o impacto visual dos edifícios de escritório ao longo do tempo, é notório o aumento de fachadas envidraçadas. Existem hoje em dia alguns emblemáticos edifícios com fachada de vidro e.g. o de Seagram em Nova Iorque, do arquiteto Mies Van der Rohe [Figura 2 à esquerda], ou como é o caso da *Freedom Tower*, inaugurada a 2014 [Figura 2 à direita].



**Figura 1** - Seagram, Nova Iorque; Freedom Tower, Nova Iorque

Por toda a Europa, principalmente nos países com maior desenvolvimento económico, é possível confirmar o aumento das fachadas envidraçadas, como é o caso do edifício da DB [Figura 3 à esquerda] ou do edifício dos escritórios da marca Mercedes [Figura 3 à direita], em Berlim, Alemanha.



**Figura 2** - Edifício da DB transportes, Berlim, Alemanha; Edifício dos escritórios da Mercedes, Berlim, Alemanha

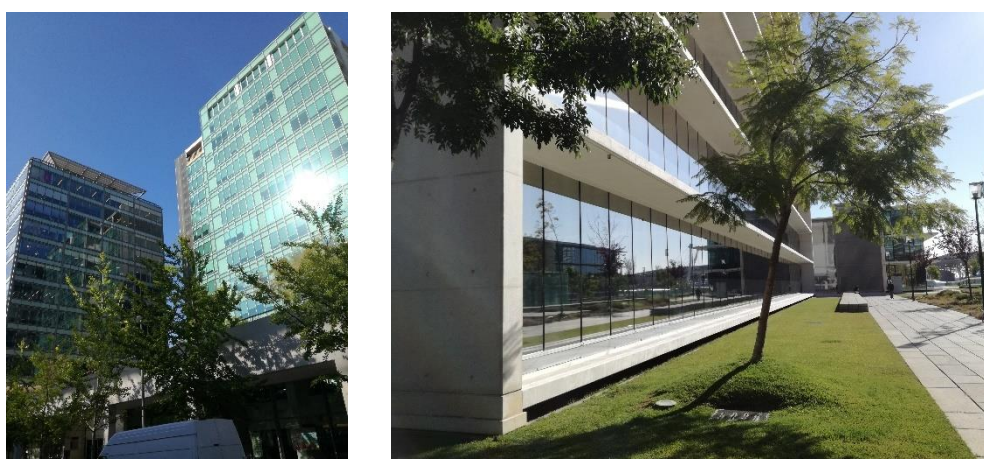
Provando que o efeito transparente que se oferece às fachadas envidraçadas é um conceito mundialmente usado, também é possível ver alguns exemplos na cidade de Pequim, China [Figura 4].





**Figura 3** - Edifícios de escritórios, Pequim, China

Em Portugal, o maior número de edifícios constituídos por fachadas envidraçadas ou por fachadas de dupla pele encontra-se localizado no Parque das Nações, em Lisboa. Aqui, é possível observar um alto número de edifícios de escritório, grande parte com soluções visuais semelhantes evidenciando o efeito de transparência [Figura 5].



**Figura 4** - Edifício Deimos, Lisboa, Portugal; Edifício campus de justiça, Lisboa, Portugal.

## 2.2. CONCEITOS TEÓRICOS

Para uma melhor compreensão dos conceitos que estão relacionados com a análise do clima interior, é imperativo que se proceda à descrição de cada parâmetro utilizado, a influência que o conjunto exerce no comportamento térmico do edifício e como este está diretamente ligado ao conforto térmico humano.

Tal como descrito anteriormente, foram registados valores de temperaturas superficiais do vidro, de fluxo de calor que atravessa o envidraçado e temperaturas ambiente. Assim, é importante que se



compreendam os conceitos teóricos que estão na origem das avaliações realizadas assim como dos ensaios de forma a compreender os resultados dos mesmos.

Na presente dissertação dá-se importância, entre outros, aos seguintes conceitos: conforto térmico humano, efeitos de condução, radiação e convecção, fluxo de calor e como é influenciado pela temperatura, humidade relativa, níveis de dióxido de carbono e, por fim, importância de outros parâmetros referentes às características dos envidraçados para as trocas de calor com o exterior.

Seguidamente aborda-se o enquadramento teórico dos conceitos referidos.

### **2.2.1. Conforto Térmico Humano**

As condições de conforto térmico são função de uma série de variáveis e variam de indivíduo para indivíduo. Para avaliar essas condições o indivíduo deve estar com vestuário apropriado e sem problemas de saúde. Assim, é possível avaliar o conforto térmico relacionando vários fatores tais como a temperatura, a humidade relativa e a velocidade do ar. No entanto, perante as mesmas condições, a resposta individual pode variar visto que ela depende da atividade que o indivíduo exerce, da quantidade de roupa que traz vestida, do facto de a roupa vestida ser apropriada ao local e da sua resposta psicológica às condições existentes. A reação do corpo às condições envolventes depende principalmente do metabolismo, que se explica como as transformações químicas que ocorrem no interior do corpo, podendo elas ser traduzidas em termos de consumo de energia. Existem seis fatores primários, segundo a ASHRAE 55 [9], que devem ser considerados como afetos ao conforto térmico:

- Metabolismo
- Tipo e quantidade de vestuário
- Temperatura do ar
- Temperatura média radiante
- Velocidade do ar
- Humidade

Metabolismo é o conjunto de reações e de transformações químicas através das quais se realizam os processos de decomposição das células, assegurando a manutenção da temperatura do corpo humano em valores da ordem de 36.5°C. Este parâmetro depende do sexo do indivíduo, da idade, da atividade e do vestuário.

O metabolismo pode ser traduzido em termos de consumo de energia e depende essencialmente da atividade que o indivíduo pratica no momento da avaliação como mostra o quadro representado [Tabela 1]. No presente caso de estudo considerou-se que a atividade seria “trabalho em computador” com um metabolismo de 1,1 met [Tabela 1].

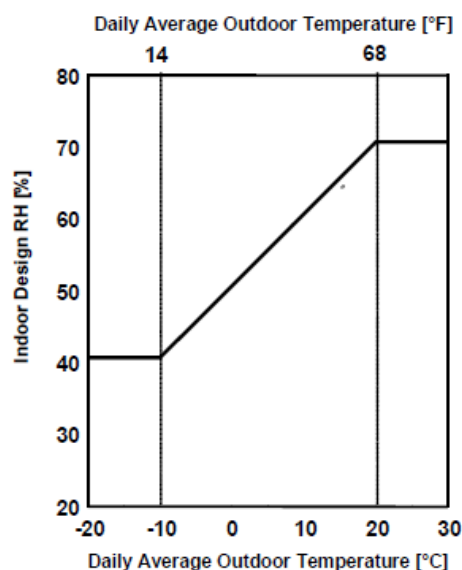
**Tabela 1** - metabolismo humano [10]

ATIVIDADE	W/M <sup>2</sup>	MET *
<b>REPOUSO</b>		
<b>DORMIR</b>	40	0,7
<b>RECLINADO</b>	45	0,8
<b>SENTADO</b>	60	1,0
<b>DE PÉ (SEM MOVIMENTO)</b>	70	1,2
<b>MARCHA</b>		
<b>0,9 M/S (3,2 KM/H)</b>	115	2,0
<b>1,3 M/S (4,8 KM/H)</b>	150	2,6
<b>1,8 M/S (6,4 KM/H)</b>	220	3,8
<b>ATIVIDADE EM ESCRITÓRIO</b>		
<b>LEITURA</b>	55	0,9
<b>ESCRITA</b>	60	1,0
<b>TRABALHO EM COMPUTADOR</b>	65	1,1
<b>ARQUIVAR (SENTADO)</b>	70	1,2
<b>ARQUIVAR (DE PÉ)</b>	80	1,4
<b>ANDAR</b>	100	1,7
<b>ARRUMAÇÕES</b>	120	2,1
<b>OUTRAS ATIVIDADES</b>		
<b>COZINHAR</b>	95 - 115	1,6 - 2,0
<b>LIMPEZA DOMÉSTICA</b>	115 - 200	2,0 - 3,4
<b>TRABALHO COM MÁQUINAS LEVES</b>	115 - 140	2,0 - 2,4
<b>TRABALHO COM MÁQUINAS PESADAS</b>	235	4
<b>EXERCÍCIO FÍSICO</b>	175 - 235	3,0 - 4,0
<b>*1 MET = 58,2 W/M<sup>2</sup></b>		

As sensações de conforto humano, sensações de frio e quente respetivamente, são função do metabolismo individual e da temperatura a que o ambiente se encontra. No inverno o indivíduo perde mais calor do que aquele que ganha, sendo as perdas de calor por vezes superiores aos ganhos. No verão o mecanismo acontece de forma inversa.

A humidade relativa, por sua vez, é relaciona a pressão parcial do vapor de água com a pressão do vapor saturado dado a uma certa temperatura e é expressa em percentagem [%].

Para valores de referência no que se trata do conforto térmico, considera-se que o corpo humano se encontra em conforto térmico quando os níveis de humidade relativa do ar estão dentro do intervalo entre 40% e 70%, como mostra a figura 6 [11]:



**Figura 5**-Humidade relativa de referência, ASHRAE Standard 160

### 2.2.2. Orientação Solar e Características da Envolvente Não Opaca

Os vãos envidraçados são componentes do edifício que permitem uma relação direta entre o seu interior e o exterior. Para além da vista, estes incentivam a receção de ganhos solares diretos e potenciam uma ventilação e iluminação natural, como explicado no capítulo anterior. O principal fator está num bom dimensionamento de forma a obter um correto balanço energético, pelo que deve ser adequado ao percurso solar e ao clima do local onde irão desempenhar as suas funções. Deve ainda existir um equilíbrio entre áreas envidraçadas, que reagem ao clima de uma forma mais instantânea, e as opacas, que atenuam o impacto das incidências extremas do clima.

Num clima como o de Portugal, a orientação que mais otimiza os ganhos solares ao longo de todo ano é a orientação a sul. A orientação a sul torna-se bastante útil pois consegue receber ganhos quando os raios solares estão baixos (Inverno) e, com a ajuda de um sistema de sombreamento, prevenir a entrada dos raios solares quando estes estão mais altos (Verão).

Nas orientações a Nascente e Poente não se verifica uma diferença tão acentuada do ângulo solar. Por este motivo, um envidraçado colocado sobre estas orientações necessita de cuidados especiais, já que, durante o Verão, especialmente a Poente, existe o risco de sobreaquecimento por efeito de estufa. Torna-se assim relevante que o dimensionamento dos vãos nestas orientações seja mais contido e que exista um sistema de sombreamento pelo exterior.

Os vãos orientados a Norte possuem um peso significativo no balanço energético, visto que não produzem ganhos energéticos significativos. Mesmo assim, estes vãos são essenciais pois potenciam uma boa ventilação natural dos espaços, favorecem uma iluminação natural difusa (aproveitando a luz proveniente da abóbada celeste), estabelecem relações visuais com o exterior, etc. Assim sendo,

sempre que se projete uma abertura na fachada a Norte é importante reavaliar o equilíbrio global do edifício do ponto de vista dos ganhos e das perdas energéticas [12].

### 2.2.3. Fator Solar

O fator solar,  $g_L$ , é adimensional e pode ser entendido como a relação entre os ganhos solares e a radiação solar incidente sobre o envidraçado.

De toda a radiação incidente num envidraçado, uma parte é transmitida para o interior, outra é refletida para o exterior e uma terceira é absorvida pelo próprio vidro. Por sua vez, a radiação que é absorvida pelo vidro, dá origem a um novo processo, levando a que uma parcela dessa radiação seja emitida para o interior e uma outra seja transmitida para o exterior.

De acordo com a NP EN 410: 2000, o fator solar de um vidro é calculado pela soma do fator de transmissão direta da energia solar com o fator de transmissão secundária de calor do envidraçado relativamente ao interior [figura 7]. Este último é o resultado da transmissão de calor por convecção e por radiação da energia que tinha sido previamente absorvida pelo envidraçado.

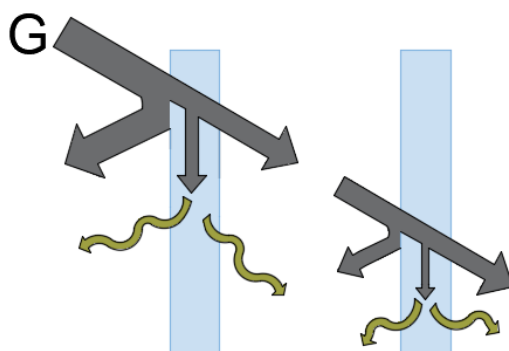


Figura 6 - Penetração da radiação em janela dupla

O fator solar define a quantidade de energia solar que atravessa o envidraçado e que é transmitida para o interior. Ou seja, quanto maior for o fator solar, maior será a quantidade de energia que atravessa o vidro, logo, maior serão os ganhos de calor através do vidro.

Por outro lado, o fator solar depende das características da superfície, ou seja, do coeficiente de transparência, do ângulo e incidência solar, das condições de ventilação à superfície, da velocidade do vento e da espessura do vidro.

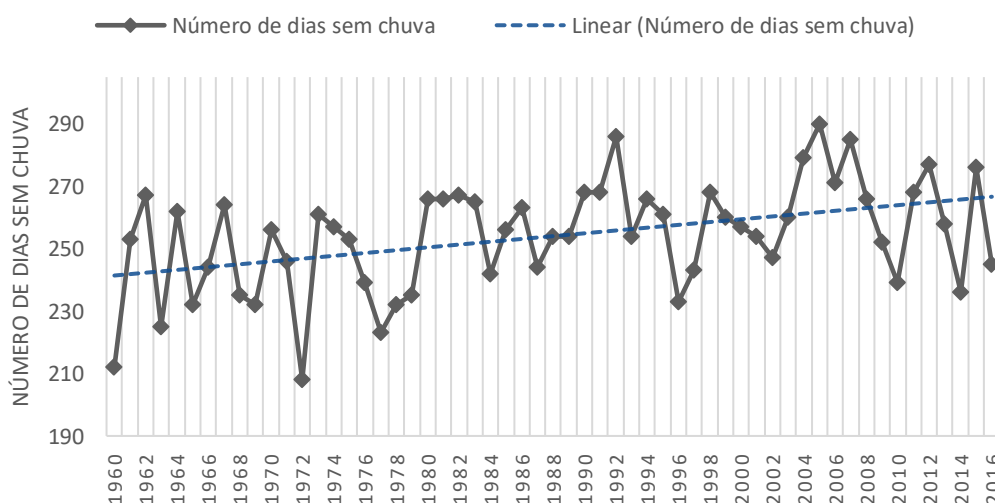
Existem bibliografias [13] que permitem a consulta de valores tabelados para o fator solar, considerando cada tipo de tipo e o seu tratamento superficial. Por exemplo, o valor de  $g_L$  assume um valor aproximado de 0.60 para vidro duplo colorido + incolor de 4+(4 a 8) ou, para vidro simples incolor de 4 mm de espessura, um valor de  $g_L$  de 0.88.

A construção de soluções de fachadas de dupla pele leva a altas temperaturas nas cavidades da fachada durante o verão e ao possível superaquecimento do edifício. Este fator é o principal impulsionador para uma maior preocupação na escolha do tipo de envidraçado. Ou seja, quanto menor for o valor do fator solar do envidraçado, menor será a radiação transmitida para o interior do edifício.

### 3. APRESENTAÇÃO DOS CASOS DE ESTUDO

#### 3.1. DESCRIÇÃO GERAL DO CLIMA EM LISBOA

Em termos genéricos, Lisboa tem, segundo a classificação de Köppen [14], um clima temperado de tipo mediterrâneo, caracterizado por um Inverno moderadamente frio e húmido e relativamente chuvoso e por um Verão seco e quente. Segundo REH e considerando uma temperatura média exterior de 21.7°C, o edifício insere-se no zonamento climático classificado como V2 [12].



**Figura 7** - Número de dias sem Chuva em Lisboa, Portugal [1960-2016]

Relativamente à precipitação [Figura 8], é de notar que nos últimos 50 anos o número médio anual de dias sem chuva em Lisboa tem aumentando tendo, durante este período, um número médio de 245 dias sem chuva. Assim, podemos concluir que Lisboa é uma cidade com uma boa exposição Solar, com uma permanência Solar de aproximadamente 70% do ano.

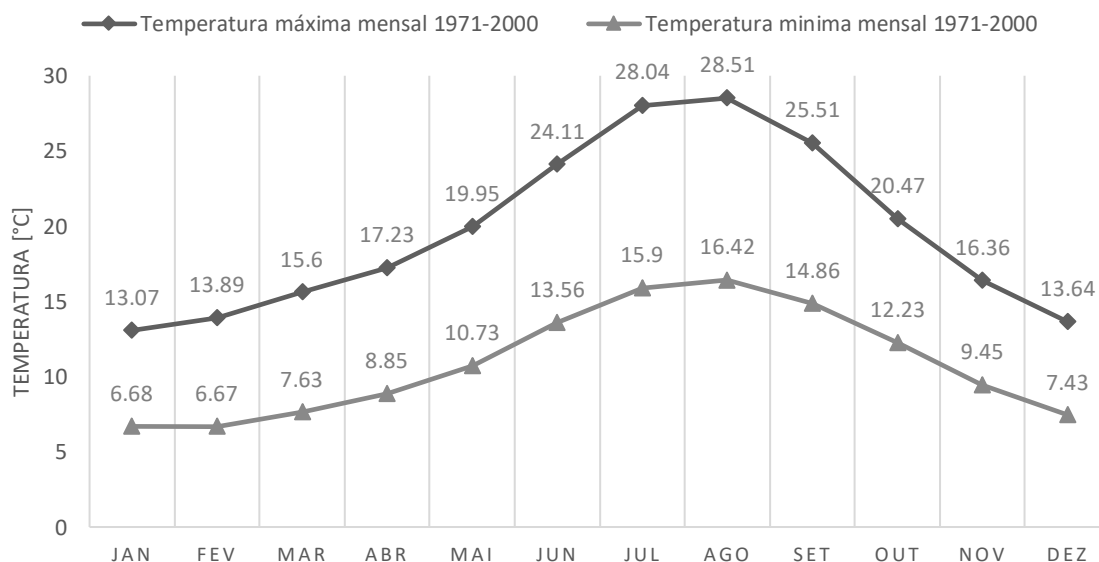
No que respeito os valores de referência para as condições ambientes de conforto térmico o regulamento indica [12]:

- 18°C para a temperatura do ar interior na estação de aquecimento

- 25°C para a temperatura do ar interior na estação de arrefecimento

A temperatura média anual é de aproximadamente 16°C e as temperaturas mínimas são registadas durante o período de dezembro a fevereiro atingindo valores médios mensais entre 10°C e 14°C. Por sua vez, as temperaturas máximas são atingidas nos meses de julho, agosto e setembro, com valores médios de 20°C e 25°C – um incremento de 15°C relativamente à temperatura máxima do mês mais frio do ano [Figura 9].

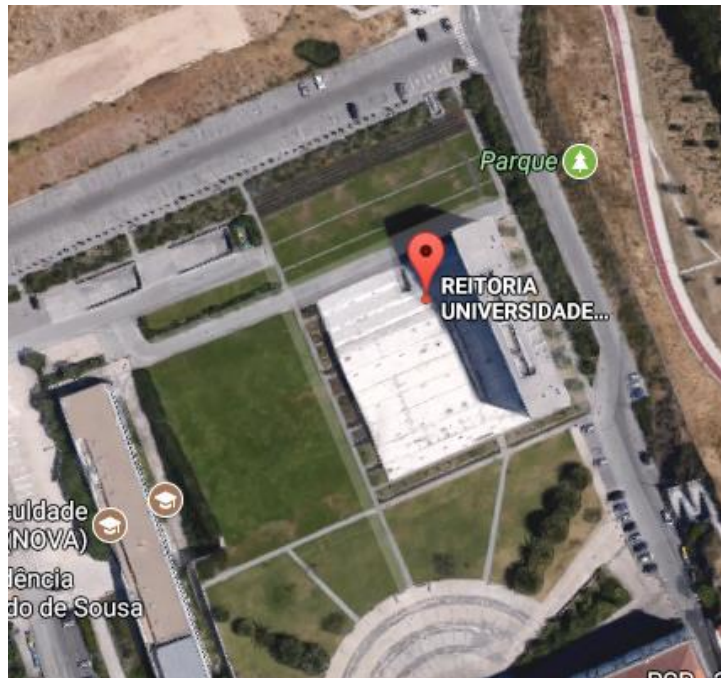
Na figura seguinte apresenta-se a evolução das temperaturas máximas e mínimas médias mensais ao longo do período de 1971 a 2000 conforme as normais climatológicas. Segundo a OMM, designam-se por normais climatológicas os apuramentos estatísticos em períodos de 30 anos que começam no primeiro ano de cada década (1901-30, 1931-1960, ..., 1961-1990...) [14].



**Figura 8** - Temperaturas máximas e mínimas exterior mensais em Lisboa, Portugal

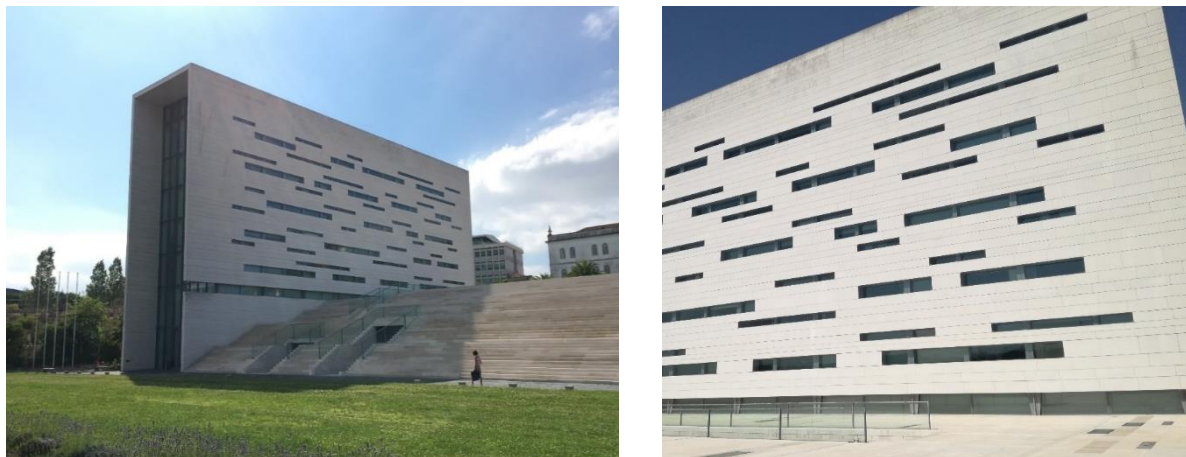
### 3.2. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

O edifício em estudo é a Reitoria de um estabelecimento de ensino superior, localizado no campus de Campolide, em Lisboa.



**Figura 9** - Local de implantação da Reitoria da UNL, Campolide, Portugal [15]

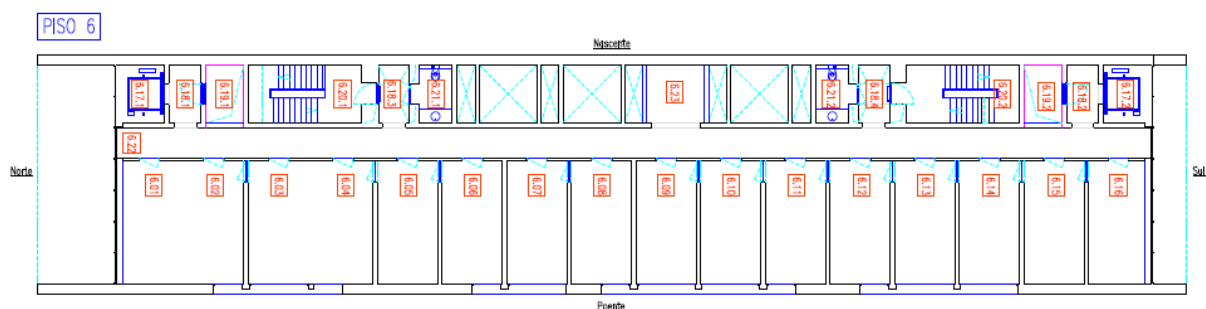
Projeto do edifício alvo de estudo foi da responsabilidade dos arquitetos Manuel Aires Mateus e Francisco Aires Mateus, tendo sido distinguido com os prémios Valmor e Municipal de Arquitetura, em 2002.



**Figura 10** - Fachada poente da Reitoria da UNL, Campolide, Portugal

O edifício é caracterizado por ser um edifício de escritórios, com por 6 pisos em elevação e com uma área de implantação de 561 m<sup>2</sup> para o bloco em elevação e de 2668 m<sup>2</sup> para as salas que se encontram no nível inferior [Figura 12]. É composto por duas fachadas envidraçadas com orientações a sul e a norte, uma fachada orientada a oeste com vãos envidraçados retangulares e uma fachada a este sem

presença de envidraçados. Os gabinetes estão inseridos em 5 dos 6 pisos em elevação e estão orientados a oeste e a sul.



**Figura 11** - Planta piso 6 do edifício da Reitoria da UNL, Campolide, Portugal

Todos os gabinetes e salas de reuniões têm englobado sistemas de climatização tipo AVAC que estão em funcionamento durante todo o ano, desde as 7:00 horas até às 19:00 horas durante a estação de arrefecimento, podendo variar este horário durante a estação de aquecimento.

As fachadas envidraçadas orientadas a norte e sul tem uma área envidraçada que corresponde a 96% da área da fachada, sem fatores de oclusão nem proteções solares exteriores.



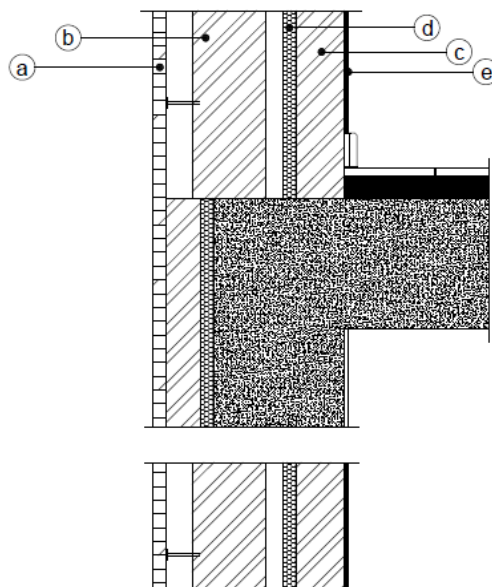
**Figura 12** - Fachada Norte (à esquerda), fachada Sul (ao meio) corredor interior (à direita) do edifício da Reitoria, Campolide, Portugal

A fachada orientada a oeste é caracterizada pela assimetria de vão envidraçados, dispostos de forma aleatória em toda a fachada em que a área de envidraçado não é constante em todos os gabinetes.

A zona opaca é do tipo fachada ventilada, constituída por revestimento exterior em pedra de Vidraço branco (a) com 30 mm de espessura e com uma fixação com grampos tipo” HALFEN” HRC 104N, em aço inox, criando uma caixa de ar de 80mm. A fixação é feita numa parede dupla, constituída por dois panos de alvenaria de tijolo furado de 15 cm (b) e 11 cm (c), com caixa de ar de 4 cm e



isolamento térmico fixado ao pano interior com placas de poliestireno extrudido tipo “Wallmate” com 3 cm de espessura (d). O acabamento interior é de tinta plástica branca (e) [Figura 14].



**Figura 13** - Pormenor construtivo fachada ventilada – corte vertical, orientação oeste

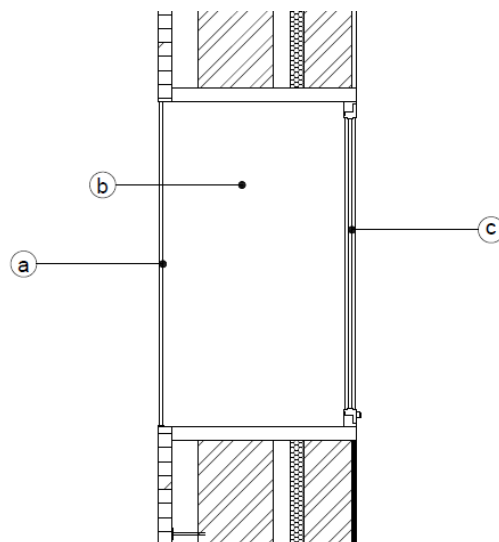
Os gabinetes não são providos de ventilação natural, visto ser dotado de janelas fixas e sem aberturas para o exterior, a renovação de ar é realizada com recurso ao sistema de climatização.

Os locais eleitos para monitorização foram escolhidos após a realização de questionários com base nos resultados dos mesmos. Foram recolhidos dados experimentais em dois gabinetes de forma a ser interessante a comparação de resultados. Deste modo, elegeu-se um gabinete com orientação a oeste e outro com orientação a sul.

Relativamente à solução presente nas fachadas estudadas nesta dissertação, a constituição dos vãos será apresentada nos subcapítulos seguintes.

### 3.3. CASO DE ESTUDO 1: GABINETE 5.05/5.06

O primeiro caso de estudo foi o gabinete 5.05/5.06, inserido no quinto piso do edifício. Apresenta três vãos envidraçados orientados a oeste com uma área total de 4.60 m<sup>2</sup>. Devido às características da solução adotada para a janela, pode-se considerar estar na presença de uma fachada de dupla pele, sem ventilação no seu interior [Figura 15].

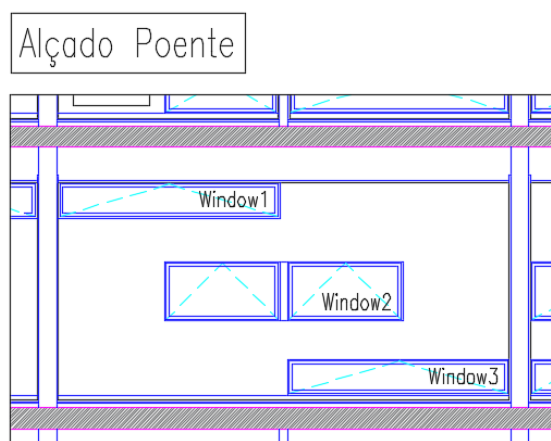


**Figura 14-** Pormenor construtivo do vão envidraçado de fachada dupla pele do gabinete 5.05/5.06 8ª direita)

Em relação à solução construtiva, as janelas são constituídas por um vidro simples exterior incolor com 8 mm (a), uma caixa de ar de 416 mm (b) e um vidro duplo interior composto por vidro exterior laminado 5+5 mm incolor + caixa de ar de 8 mm + vidro interior temperado incolor 8 mm (c) [Figura 15].

O ensaio realizado neste gabinete consiste na medição de temperaturas superficiais do vidro através de equipamentos de medição in situ – equipamentos descritos no capítulo 5.

Nesta campanha de monitorização em que se efetuaram as medições de temperaturas superficiais do vidro foi realizado na janela 2, Window2, por ter maior área de influência, 2.18 m<sup>2</sup> quando comparada com as restantes [Figura 16].



**Figura 15** - Alçado poente gabinete 5.05/5.06 (à esquerda);

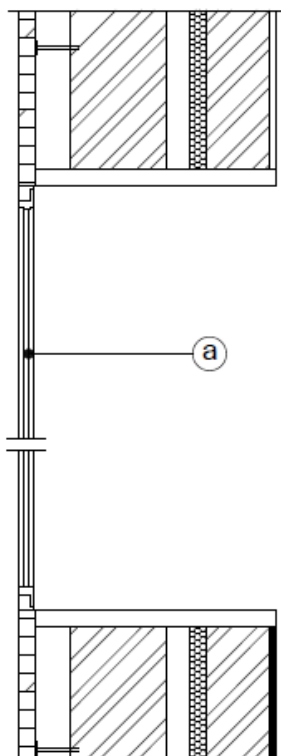
É clara a ausência de sombreamento exterior relativamente ao edifício, o que favorece a incidência Solar nos envidraçados e a possibilidade de transferência de calor para o espaço interior. É possível observar a ausência de sombreamento exterior sendo que os gabinetes apenas são equipados com sombreamento translúcido interior de ativação manual. Embora a sensação de conforto aumente pela percepção visual devido à colocação dos estores interiores, a temperatura interior não diminui, como foi analisado empiricamente.

Este ensaio foi realizado durante o período diurno e noturno, de dia 17 de julho de 2017 pelas 17:00 até ao dia 21 de julho de 2017 pelas 15:00.

### 3.4. CASO DE ESTUDO 2: GABINETE 6.16

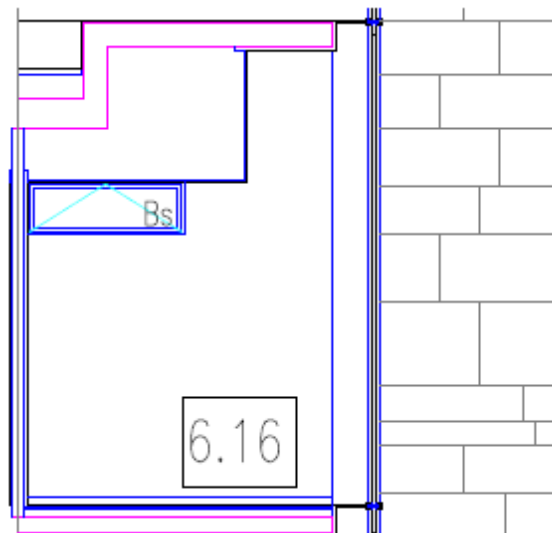
O segundo caso de estudo foi realizado no gabinete 6.16, inserido no piso 6 e constituído pela fachada principal envidraçada orientada a sul, com uma altura que acompanha o pé direito de 3.80 m.

A fachada tem uma área total de 23.67 m<sup>2</sup>, sendo máxima a sua influência no comportamento térmico do gabinete. É constituída por vidro duplo composto por vidro exterior laminado 5+5 mm incolor + caixa de ar de 8 mm + vidro interior temperado incolor 8 mm [Figura 17].



**Figura 16**-Pormenor construtivo do vão envidraçado do gabinete 6.16

Existe ainda um outro vão envidraçado inserido na fachada oeste com uma área de 0.60 m<sup>2</sup>, com a mesma Solução construtiva da janela do gabinete 5.05/5.06 [Figura 18].



**Figura 17** - Corte poente do gabinete 6.16 (à esquerda)

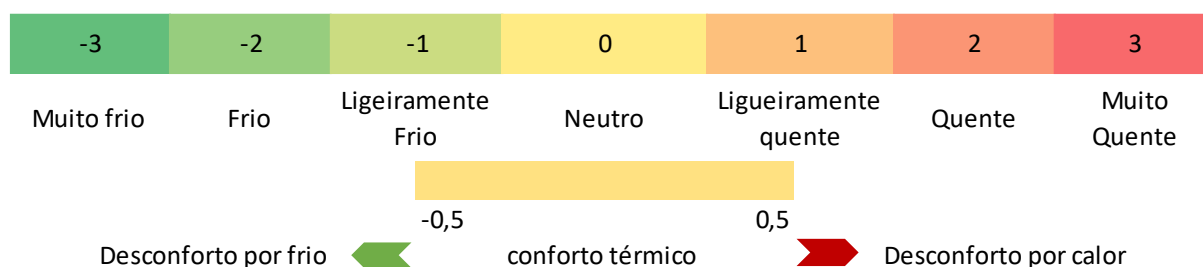
O ensaio foi realizado na janela orientada a sul por se tratar do vão envidraçado com maior influência no gabinete e que permite maiores trocas de calor com o exterior.

O ensaio foi realizado durante o período diurno e noturno, no período compreendido entre as 12:00 de dia 21 de agosto de 2017 até às 15:30 de dia 25 de agosto de 2017.

## 4. AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE CONFORTO

A pesquisa efetuada debruçou-se sobre artigos que tiveram como principal objetivo a avaliação do conforto térmico, tendo-se observado dois principais tipos de artigos dentro da área referida: artigos que abordam como o conforto térmico, acústico e visual, bem como a satisfação com a qualidade do ar no interior, são classificados pelos utilizadores desses mesmos dos edifícios; publicações que discutem a possível relação entre diversos fatores de conforto tais como as características dos utilizadores do edifício (idade, sexo, etc.) e as características do próprio edifício (idade do edifício, ambiente interno, visão para o espaço exterior) [16] [17].

Para uma avaliação com classificação em escala tiveram-se em consideração referências disponíveis pela ASHRAE Standard 55<sup>2</sup>, que avalia as condições ambientais de conforto térmico para a ocupação humana e que fornece requisitos mínimos para ambientes internos térmicos aceitáveis. Esta norma estabelece uma gama de valores para as condições ambientais internas que são aceitáveis para alcançar o conforto térmico dos ocupantes [Figura 19]. A gama referida é constituída por valores entre -3 e +3, sendo que o primeiro valor é associado à sensação de ‘Muito Frio’ e o último valor do intervalo à sensação de ‘Muito Quente’.



**Figura 18** - Escala de sensações para níveis de conforto com base na avaliação ASHRAE

É importante referir que os resultados obtidos pelos questionários são pontuais e apenas válidos durante o período em que são realizados.

<sup>2</sup> ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) é uma norma *standard* que fornece os requisitos mínimos aceitáveis de conforto térmico para ambientes internos.

## **4.1. ORGANIZAÇÃO DO QUESTIONÁRIO**

Os questionários foram construídos e distribuídos por 48 utilizadores do edifício de escritórios e, posteriormente analisados. Foram realizados em 6 pisos, englobando um total de 23 gabinetes.

O questionário construído inclui respostas de seleção num intervalo de classificação e respostas abertas de opinião pessoal. As questões foram realizadas dentro do objetivo do presente estudo e de forma a ter diferentes perspetivas para futuros trabalhos e futuras melhorias do edifício, o que garantirá o conforto dos ocupantes e, ao mesmo tempo, Soluções para atingir o mesmo fim.

Em paralelo com a distribuição e preenchimento dos questionários, foram feitas medições de temperatura interior e de concentração de dióxido de carbono que visaram uma melhor análise e comparação entre as possíveis respostas e as condições ambientais dos gabinetes aquando da altura de preenchimento.

Toda a informação presente no questionário é de cariz anónimo, sendo respeitada a decisão de anonimato por parte dos participantes. A presente pesquisa teve como objetivo avaliar o nível de conforto humano no interior do edifício em questão. Os dados fornecidos foram avaliados e estudados de forma confidencial com base em formulação e conhecimento científico para fundamento da presente dissertação.

Trata-se de um questionário elaborado no âmbito desta dissertação com o objetivo específico da avaliação das condições de conforto do edifício da reitoria da UNL. Foi distribuído, preenchido e recolhido na Reitoria da Universidade Nova de Lisboa e abrangeu um total de 48 utentes do edifício.

O modelo usado para a construção do questionário encontra-se no Anexo 1.

O questionário está estruturado em cinco secções que se referem a dados pessoais e profissionais e ao nível de conforto de cada indivíduo interveniente.

Apresenta-se de seguida as cinco secções do questionário em conjunto com a descrição dos tópicos abrangidos para avaliação das condições de conforto.

### **A. Descrição do Espaço de Trabalho**

A primeira secção compete registar o piso onde está a ser preenchido cada questionário, assim como, o gabinete. Esta primeira etapa foi essencial para a escolha dos gabinetes para monitorização, tendo sido possível identifica-los aquando da avaliação dos resultados.

### **B. Descrição Pessoal**

Esta seção consiste em enquadrar os 48 intervenientes em termos de sexo, idade, tempo de serviço realizado no gabinete e o número de horas nas quais se encontram nele.

### **C. Opinião Geral sobre o Edifício**

Para a avaliação deste ponto foram tidos em consideração os fatores que podem pôr em causa o conforto térmico dos utilizadores do espaço, tais como o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação natural, a luz natural ou artificial e o ruído.

A escala utilizada na avaliação destes parâmetros encontra-se num intervalo entre 1 e 5, em que o nível 1 corresponde à maior situação de desconforto e 5 ao nível de maior conforto.

### **D. Avaliação Pessoal do Nível de Conforto**

Nesta secção o nível de conforto térmico afeto a cada um dos intervenientes do questionário é avaliado. A primeira questão foca-se na localização do espaço de trabalho dentro do gabinete. As seguintes questões seguem a escala de sensações da ASHRAE, avaliando a sensação de ‘muito frio’ para valores de -3 e a sensação de ‘muito quente’ para 3.

### **E. Comentários Adicionais**

Por último, foi dado ao interveniente a liberdade de expressar qualquer comentário adicional que considerasse relevante para o presente questionário.

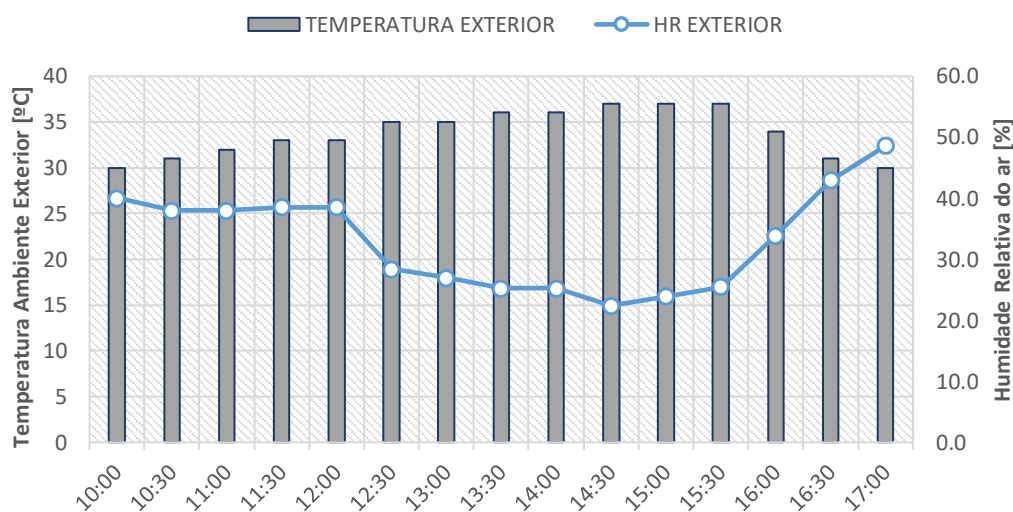
Houve essa necessidade uma vez que, apesar de as condições teóricas de conforto no momento do questionário serem verificadas, os utilizadores não se encontravam totalmente em conforto térmico.

## **4.2. ANÁLISE DE RESULTADOS**

O questionário referido foi conduzido no dia 19 de julho de 2017 durante dois turnos: o primeiro no período da manhã, entre as 10:00 e as 13:00; e o segundo no período da tarde, entre as 14:30 e as 17:00.

Durante a recolha de informação aos 48 utilizadores do caso de estudo, foram conduzidos ensaios de: nível concentração de dióxido de carbono [partes por milhão - ppm] e temperatura interior ambiente [°C].

Através dos dados meteorológicos fornecidos pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) foram registadas as temperaturas exteriores ambiente [°C] e a humidade relativa do ar exterior [%] como termo de comparação com as condições ambientais interiores [Figura 20].

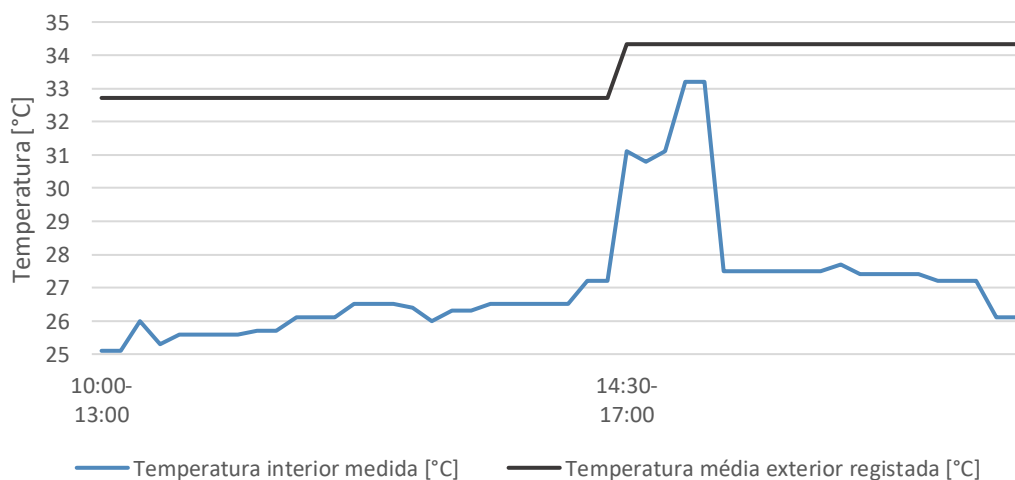


**Figura 19** - Condições exterior ambientais durante o preenchimento dos questionários

Foram medidos valores de temperaturas interiores e concentração de CO<sub>2</sub> entre o intervalo de 25,1°C a 33,2°C, e entre 723 ppm e 1228 ppm, respetivamente.

Durante o período em que se realizou o questionário o sistema de climatização esteve ligado em permanência.

Em termos comparativos, registaram-se os valores medidos em todos os gabinetes e elaborou-se um gráfico que mostra a evolução das temperaturas médias interiores ao longo de um dia laboral durante o período da manhã e durante o período da tarde [Figura 21].



**Figura 20** - Valores comparativos entre as temperaturas do ar interior (TAI) e as temperaturas do ar exterior (TAE) durante o preenchimento dos questionários [°C]



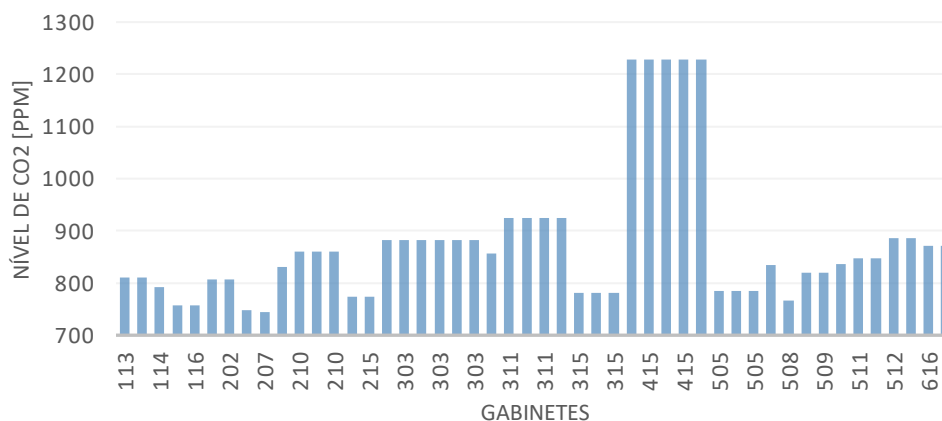
Como esperado, observou-se que as temperaturas interiores mais elevadas se encontram durante o período laboral da tarde, entre as 14:30 e as 17:00 tendo sofrido um aumento de aproximadamente 24% comparativamente às temperaturas médias do período da manhã.

Os gabinetes abrangidos nesta fase de estudo encontram-se representados na tabela 2:

**Tabela 2** - Gabinetes abrangidos na elaboração de questionários

GABINETES					
PISO 1	PISO 2	PISO 3	PISO 4	PISO 5	PISO 6
113	202	303		505	
	206			507	
	207			508	
114	209	311	415	5009	616
	210			510	
				511	
116	215	315		512	

Simultaneamente, foi medido e registado o nível de concentração de dióxido de carbono presente em todos os gabinetes abrangidos pelo questionário [Figura 22].



**Figura 21** - Registo de valores de concentração de dióxido de carbono no ar interior [ppm]

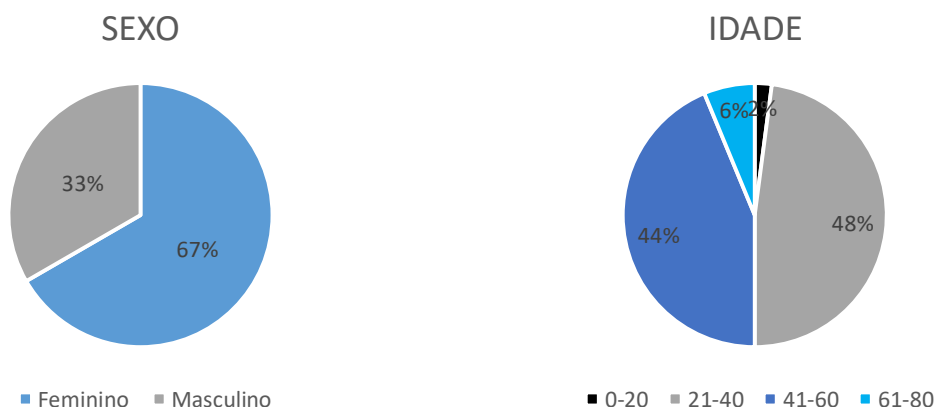
Sendo o caso de estudo um edifício de escritórios, este está inserido na categoria III [18] e onde os valores de referência para os níveis de concentração de dióxido de carbono são de 800 ppm acima dos níveis de concentração medidos no exterior. Uma vez que foram medidos valores médios de 610 ppm no ar exterior, o valor limite para níveis de conforto no que se refere ao CO<sub>2</sub> equivale a 1410 ppm.

Conforme a norma BS EN 15251:2007 [18], podemos afirmar que os valores de concentração de dióxido de carbono registados durante o preenchimento do questionário estão dentro dos limites regulamentares. Este facto poderá ser justificado pela presença contínua de sistemas de climatização que regulam este parâmetro.

**Tabela 3-** Exemplos de valor recomendados de concentração de dióxido de carbono para valores acima da concentração de partículas no ar exterior

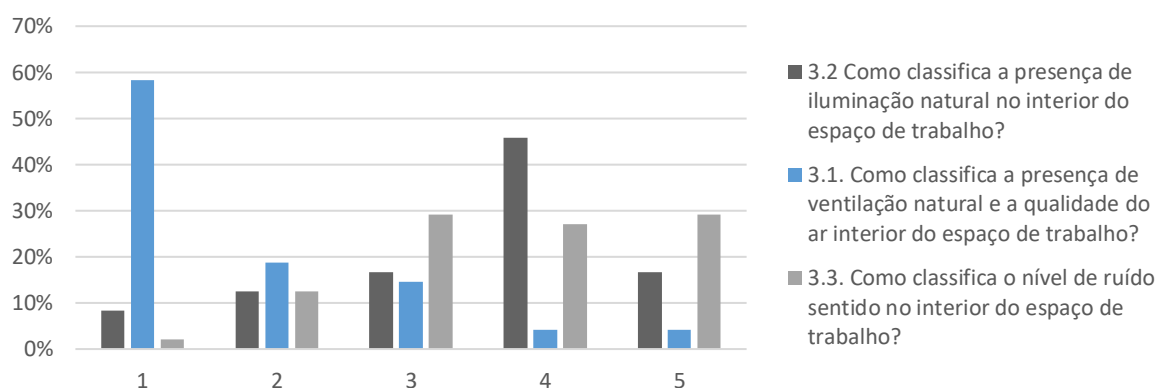
Categoria	CO2 correspondente acima dos níveis em ppm para cálculos de energia
I	350
II	500
III	800
IV	< 800

Como já foi referido anteriormente, foram distribuídos 48 questionários contemplando um total de 33% de indivíduos do sexo masculino e 67% do sexo feminino, em que as idades variam entre 21 a 60 anos.



**Figura 22** - percentagem de pessoas afetas ao questionário - sexo (à esquerda), idade (à direita)

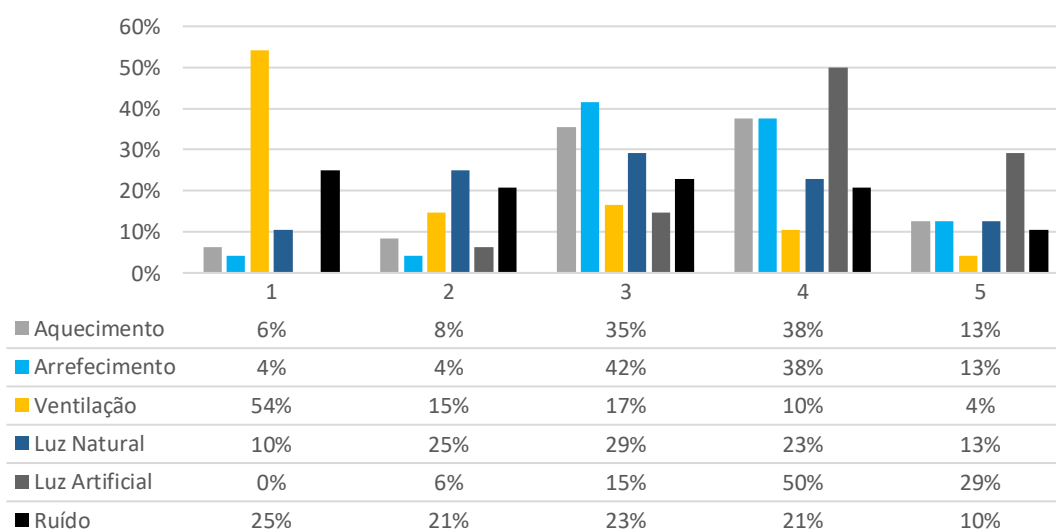
A avaliação do ponto 3 referente à opinião geral sobre o edifício, revela a existência de uma elevada percentagem, 46%, que classifica a presença de iluminação natural no interior do espaço de trabalho com uma classificação de '4' numa escala de classificações de 1 a 5 de muito pouco adequada a muito adequada, respetivamente. Relativamente à ventilação natural, é clara a insatisfação dos participantes do estudo, apresentando uma insatisfação de 58%. Em termos do ruído, a opinião reparte-se em percentagens equivalentes numa avaliação dentro do intervalo de 3 a 5.



**Figura 23** - Resultados obtidos para a secção 2 "Opinião Geral sobre o Edifício"

Embora o balanço quanto à classificação de iluminação natural seja maioritariamente positivo, as respostas que se encontram no intervalo de 1 a 3 são justificadas pelo efeito da luminância<sup>3</sup> exagerada que, devido à refração da luz, pode dar origem a um ambiente desconfortável de trabalho.

A manifestação de desconforto relativamente à ventilação natural é de opinião geral. Esta insatisfação é justificada pelo facto de não existirem aberturas para o exterior, sendo obrigatório o uso de sistemas de climatização com fim a fornecer aos gabinetes de trabalho a renovação de ar necessária. Ou seja, a falta de ventilação natural reflete-se na insatisfação relativamente ao nível de controlo que os utilizadores dos gabinetes exercem sobre ela, tendo obtido 'sem controlo' em 54% dos inquéritos realizados.



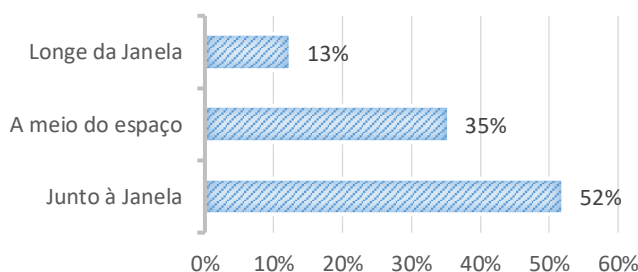
**Figura 24** - Resultados obtidos na questão "Qual o nível de controlo que exerce sobre os seguintes aspetos no interior do espaço de trabalho?"

<sup>3</sup> Ou intensidade de iluminação, é uma grandeza de luminosidade que relaciona o fluxo de luz que incide na direção perpendicular a uma superfície [lux].

Relativamente ao nível de controlo exercido no arrefecimento e aquecimento, os votos situam-se com a maior percentagem entre os valores 3 e 4 – 73% para o aquecimento dos gabinetes e 80% para o controlo exercido sobre o arrefecimento. Como referido, todos os gabinetes estão providos de sistemas tipo AVAC com controlo automático e manual, sendo possível serem ajustados consoantes as necessidades pessoais.

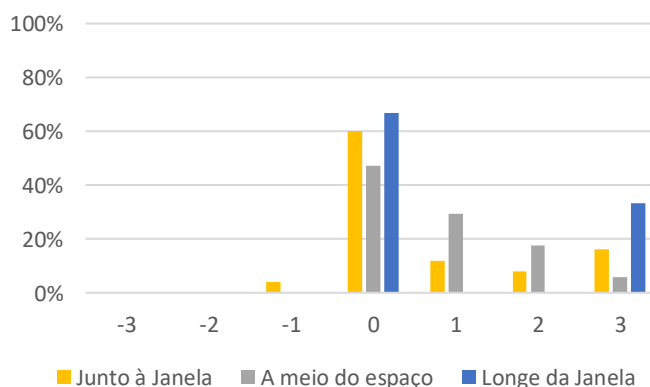
No que diz respeito ao controlo da presença de luz natural e controlo sobre o ruído, os resultados não são conclusivos, estando repartidos de forma equivalente para todos os níveis de controlo. Por outro lado, o nível de controlo sobre a luz artificial obteve resultados maioritariamente positivos, em que 79% dos votos se encontram para os níveis de controlo 4 e 5.

A segunda parte do questionário teve como objetivo avaliar os níveis de conforto térmico aplicado numa escala de sensações [9]. De forma a separar o espaço de trabalho em zonas tal que fosse possível avaliar a influência da incidência Solar, procedeu-se à questão 4.1.

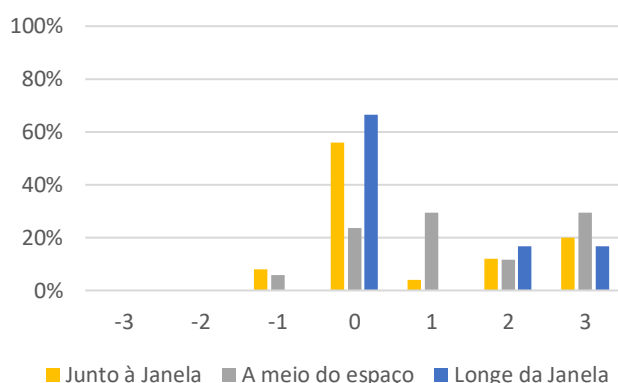


**Figura 25** - Resultados obtidos na questão sobre a localização do espaço de trabalho

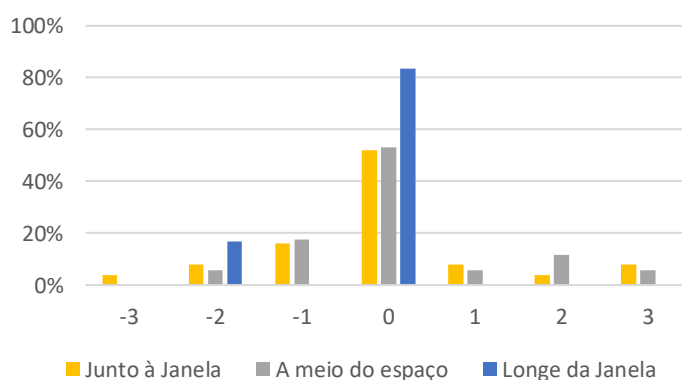
Considerando a divisão de cada gabinete em três zonas (“junto à janela”, “a meio do espaço” e “longe da janela”), procedeu-se à análise dos resultados das questões 4.2, 4.3 e 4.4. Estas questões avaliam o nível de conforto térmico individual para três situações: a situação real, situação de inverno e situação de verão.



**Figura 4. 26** - Resultados obtidos na pergunta 4.2. “Neste momento, como classifica o nível de conforto térmico a que está sujeito? [-3 Muito frio, 3 Muito quente]”



**Figura 27-** Resultados obtidos na pergunta 4.3. “No verão, como classifica o nível de conforto térmico a que está sujeito?” [-3 Muito frio, 3 Muito quente]



**Figura 28-** Resultados obtidos na pergunta 4.4. “No inverno, como classifico o nível de conforto térmico a que está sujeito?” [-3 Muito frio, 3 Muito quente]

Em resumo, observa-se uma maior percentagem de respostas dentro do intervalo entre os valor -1 e 1. Comparando os resultados obtidos entre as figuras 28 e 29, observa-se uma maior tendência para sensação de frio no inverno e sensação de calor no verão.

É preciso esclarecer que, embora o nível de conforto esteja teoricamente garantido, na prática, os utilizadores do edifício manifestam níveis muito baixos de conforto. Este desconforto manifestado pelos utilizadores na última secção do questionário, ponto 5, está relacionado com a falta de ventilação natural e com a presença em permanência do sistema de climatização tipo AVAC. Existem ainda situações relacionadas com o foro da saúde, tais como, casos em que se verificaram problemas respiratórios e alérgicos, e situações de manifestação de descontentamento no que se refere à necessidade de renovação de ar.

De forma empírica e juntamente com os resultados obtidos pelos questionários, procedeu-se à fase seguinte de realização de ensaios in situ em dois gabinetes caracterizados pelos piores desempenhos térmicos no que se refere ao conforto. Os ensaios realizados estão descritos no capítulo seguinte do presente documento.



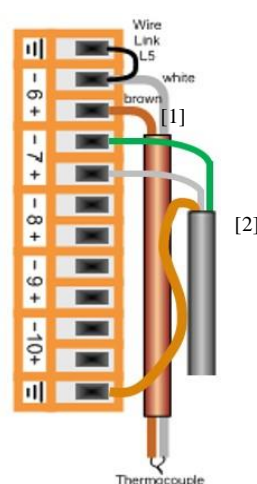
## 5. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Neste capítulo são apresentados os equipamentos utilizados durante a realização de ensaios *in situ* e os resultados obtidos através das campanhas de monitorização em ambos os gabinetes analisados.

### 5.1. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

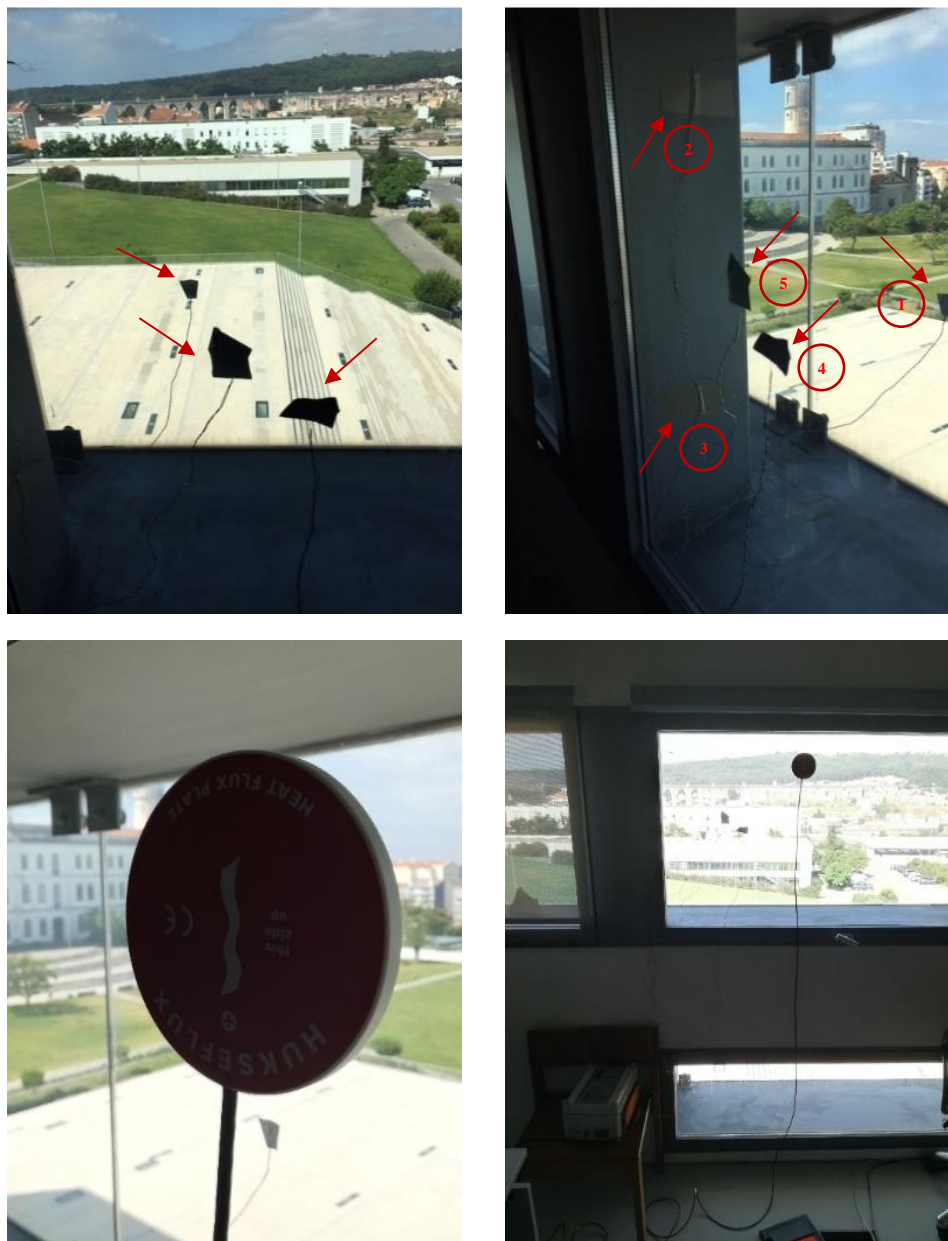
Para a monitorização das condições de conforto térmico, foram instalados os seguintes aparelhos: *data logger Delta T* associado ao uso de cinco termopares e de um sensor de medição de fluxo de calor do tipo *Hukseflux HFP01*, um equipamento móvel designado como *Sensor TEL-7001 CO<sub>2</sub>* que mede a temperatura do ar [°C] e a concentração de dióxido de carbono [ppm] e o respetivo adaptador *Hobo U12-13* de medição de humidade relativa.

Em laboratório, calibrou-se o *data logger Delta T* com medições contínuas durante um período de dois dias divididos em dois turnos de 5 horas, manhã e tarde. A ligação dos termopares e do fluxímetro ao *data logger Delta T* está representada na figura seguinte [Figura 30]. Os termopares foram acoplados nos canais 2, 3, 4, 5 e 6 enquanto que o fluxímetro foi acoplado no canal 7. Os fios dos termopares são instalados como está representado no esquema [1] representado na figura 30 enquanto que o fluxímetro está representado no esquema [2] representado na mesma figura [19].



**Figura 29** - Acoplação de fios termopares

Procedeu-se à instalação dos cinco termopares e do fluxímetro no envidraçado central da fachada, como mostra a Figura 31:



**Figura 30** - Fixação dos termopares e do fluxímetro no gabinete 5.05/5.06

Como já foi referido no capítulo 3, o ensaio foi realizado durante o período diurno e noturno, de dia 17 de julho de 2017 pelas 17:00 até ao dia 21 de julho de 2017 pelas 15:00.



## 5.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

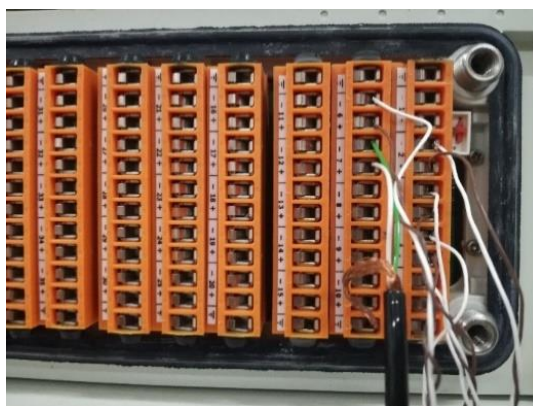
Com vista à monitorização de ambos os gabinetes foram instalados dois equipamentos de aquisição de dados e de forma a analisar as condições higrotérmicas foi usado um *data Logger* da marca Delta T com acoplação de cinco termopares e um fluxímetro da marca Hukseflux Thermal Sensores.

Em paralelo foram utilizados dois dispositivos portáteis, *Sensor TEL-7001* e *Hobbo U12-13*, capazes de medir e registar valores de concentração de dióxido de carbono, humidade relativa e temperatura do ar. O Sensor Tel-7001 foi utilizado em ambas as fases de estudo, questionários e ensaios in situ, enquanto que o *Hobbo U12-12* foi utilizado apenas nos ensaios in situ.

### 5.2.1. Data Logger $\Delta T$ DL2e

Para determinar as temperaturas do ar e as humidades relativas dos gabinetes recorreu-se a um *data logger* da marca *Delta T*, modelo DL2e [Figura 32].

Este aparelho é reprogramável, com capacidade de memória de 131072 leituras e capaz de armazenar dados de diversas fontes. No presente caso de estudo foram utilizados 5 termopares e um fluxímetro, como mostra a Figura 32.



**Figura 31** - *Data logger Delta T*

Este dispositivo apresenta um erro de medição de  $\pm 0,02\%$  podendo atingir valores máximos de  $0,1\%$  [20]. Trata-se dum aparelho resistente, que pode operar em condições de extrema humidade, tanto sobre gamas de temperaturas baixas como sobre gamas de temperaturas elevadas. Possui também uma pilha de lítio capaz de salvaguardar os dados em caso de falha de energia, uma vez que estes são armazenados em memória RAM, que formata em caso de falha de alimentação.

De forma a programar o aparelho, recorre-se ao programa *DL2-Program Editor*, onde se define quantas entradas iremos ter e que tipo de leitura pretendemos fazer.

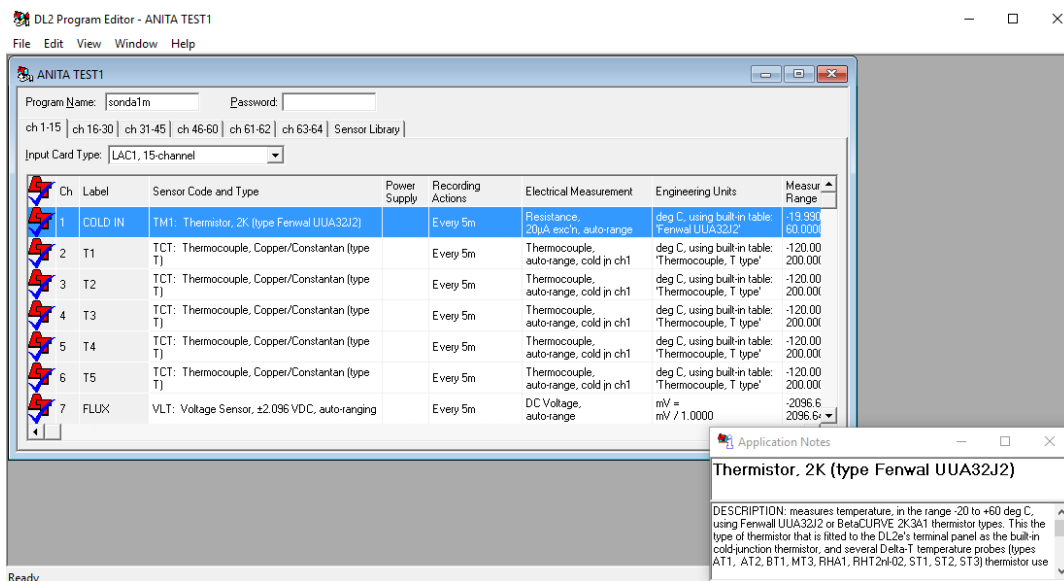


Figura 32 - DL2 Program Editor

A leitura foi programada para gravar de 5 em 5 minutos. Após a instalação do aparelho in situ, as leituras são ativadas no aparelho, confirmando o início das leituras quando a mensagem “logging started” aparece. Após as respectivas leituras, os dados transferidos para o *data Logger* podem ser visualizados com o programa *DL2 Dataset Viewer* e importados para uma folha de cálculo com recurso a uma aplicação diretamente associada à folha de cálculo denominada *Dataset Import Wizard1.6* [21].

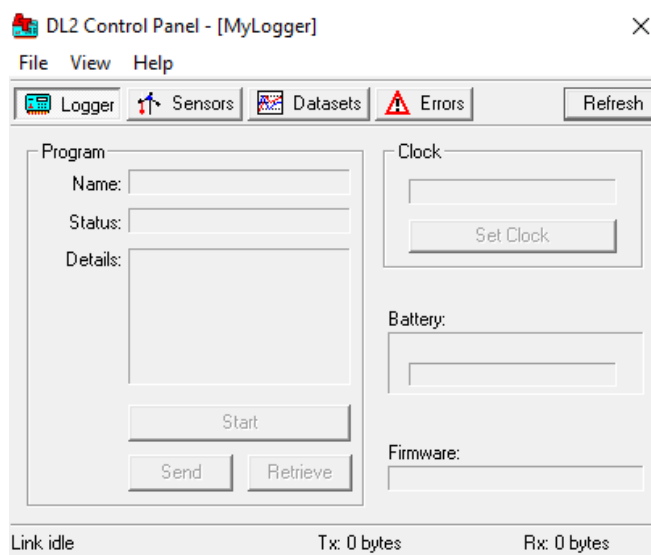


Figura 33 - DL2 Control Panel

### 5.2.2. Fluxímetro Hukseflux

Para a medição do fluxo de calor que atravessa o envidraçado, usou-se um fluxímetro da marca *Hukseflux Thermal Sensors*, modelo HFP01 [Figura 35].



**Figura 34** - Fluxímetro *Hukseflux Thermal Sensors*

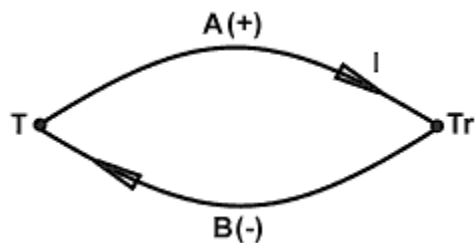
Este modelo é o mais usado para medição do fluxo de calor, tanto em solo, como em materiais de construção [21]. É constituído por um pequeno disco composto por um compósito cerâmico-plástico, sendo adequado para uso a longo prazo em um local, bem como instalação repetida em vários locais.

O fluxímetro *HFP01* mede o fluxo de calor através do objeto em que ele se encontra em contacto, em mV. O sensor pode ser ligado diretamente aos sistemas de log de dados, nomeadamente ao *Data Logger AT DL2e*.

O fluxo de calor em  $\text{W/m}^2$  é calculado dividindo a saída *HFP01*, uma pequena tensão, pela sensibilidade. A sensibilidade é fornecida com o *HFP01* no seu certificado de calibração, que, no usado para o presente estudo, foi de  $59.7 [(\mu\text{V})/(\text{W} \cdot \text{m}^2)]$ .

### 5.2.3. Termopar

Thomas Seebeck descobriu em 1921 o efeito termoelétrico ou efeito Seebeck. Este efeito afirma que a união de materiais condutores distintos produz uma tensão elétrica cujo valor depende dos materiais que a compõem e da temperatura a que se encontram [22]. Este é o princípio em que se baseia o funcionamento do termopar. Ou seja, devido ao aumento da temperatura, a extremidade mais quente faz com que os eletrões dessa zona aumentem a sua energia cinética e se desloquem para o lado oposto, que se encontra a menores temperaturas, dando origem a uma diferença de potencial elétrico entre ambas as extremidades.



**Figura 35** - Funcionamento do termopar, efeito Seebeck [22]

Em termos práticos, quando dois condutores metálicos, A e B, com diferentes propriedades são acoplados, os elétrons de um material tendem a migrar para o outro, gerando uma diferença de potencial elétrico. Esse efeito é capaz de transformar energia térmica em energia elétrica quando em contacto com uma fonte de calor.

Os termopares usados nos ensaios deste trabalho permitem a medição de temperaturas numa vasta gama, entre os  $-120^{\circ}\text{C}$  e os  $200^{\circ}\text{C}$ , com uma precisão satisfatória e facilidade na obtenção de resultados. É importante realçar que os termopares do tipo T apresentam um erro de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  para temperaturas entre valores de  $-20$  e a  $+60^{\circ}\text{C}$  e uma distância máxima ao aparelho central de dez metros, a partir da qual o erro tende a aumentar.

#### 5.2.4. Sensor de $\text{CO}_2$

Na fase preliminar do estudo, foram realizados questionários a 48 utilizadores do espaço, tal como referido no capítulo anterior. Em simultâneo, mediu-se a temperatura do ar interior e o nível de dióxido de carbono presente em cada gabinete interveniente nos questionários.

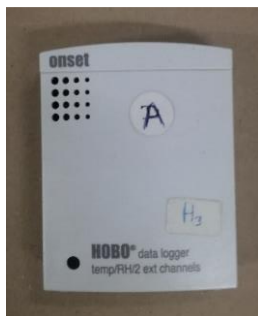
Para esse efeito, foi utilizado um sensor *TEL-7001*  $\text{CO}_2$  da marca Onset que tem a capacidade de medir a temperatura e o dióxido de carbono [Figura 37]. É importante salientar que este dispositivo tem uma ótima precisão de  $\pm 50$  ppm ou de 5% de leitura.



**Figura 36** - Sensor *TEL-7001*, medidor de temperatura do ar [ $^{\circ}\text{C}$ ] e de dióxido de carbono [ppm]

O sensor, quando associado à série *Hobo U12-13*, pode gravar os valores de dióxido de carbono, de temperatura e de humidade relativa. Quanto à fonte de alimentação, tanto pode ser usando um adaptador para a rede elétrica, como com o auxílio de 4 pilhas tipo AA, operando neste último caso durante um máximo de 70 horas.

Na segunda fase experimental foi utilizado, juntamente com o sensor *TEL-7001* de CO<sub>2</sub>, o aparelho *Hobo U12-13* da marca Onset, com a capacidade de medir temperaturas e humidades relativas de forma automática e com armazenamento de até 43000 medições.



**Figura 37** - *Hobo U12-13*, medidor de humidade relativa do ar [%]

De modo a avaliar as condições de conforto térmico no gabinete e a compará-las com as condições atmosféricas exteriores, procedeu-se à instalação dos equipamentos acima referidos para uma monitorização automática. Os equipamentos foram programados para realizar medições com intervalo de tempo de 5 minutos.

Os cálculos efetuados nos procedimentos seguintes são obtidos com base nas medições registadas para intervalos de tempo de 15 minutos.

### 5.3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Para a análise de resultados selecionaram-se dois dias para comparação: dia 18 de julho e 20 de julho, em que o primeiro tem maior horas de sol do que o segundo, como se pode observar a partir da Tabela 4. É importante salientar que durante a semana de monitorização, as temperaturas exteriores encontraram-se no intervalo de valores desde 27°C a 15°C. Quanto ao interior, registaram-se valores no intervalo de 27°C a 23°C, com o sistema de climatização em funcionamento.

Foram medidas e registadas as seguintes grandezas físicas:

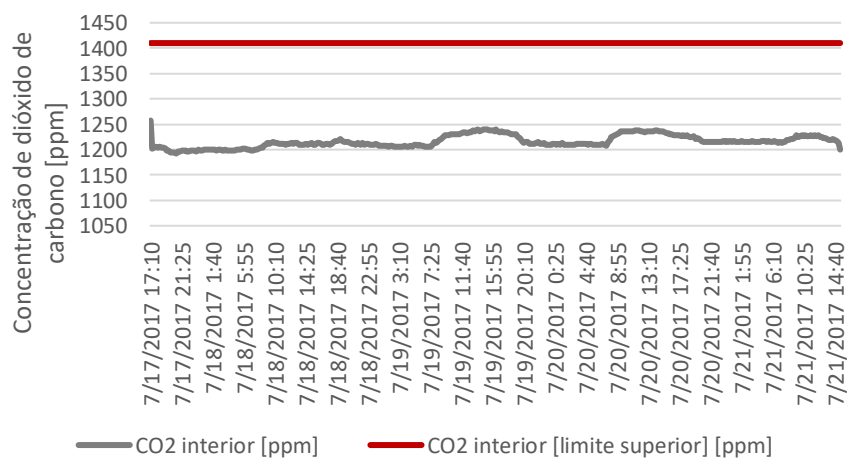
- Temperatura média horária exterior [°C];
- TAI: Temperatura do ar interior (em intervalos de 15 minutos) [°C];
- TAE: temperatura do ar exterior horária [°C];
- Humidade relativa interior [%];
- Nível de dióxido de carbono interior [ppm];
- Nível de dióxido de carbono médio semanal exterior [ppm];

- Fluxo de calor [W/m<sup>2</sup>].

**Tabela 4** - temperaturas máximas e mínimas interiores e exterior, gabinete 5.05/5.06 [17/07/2017 - 21/07/2017]

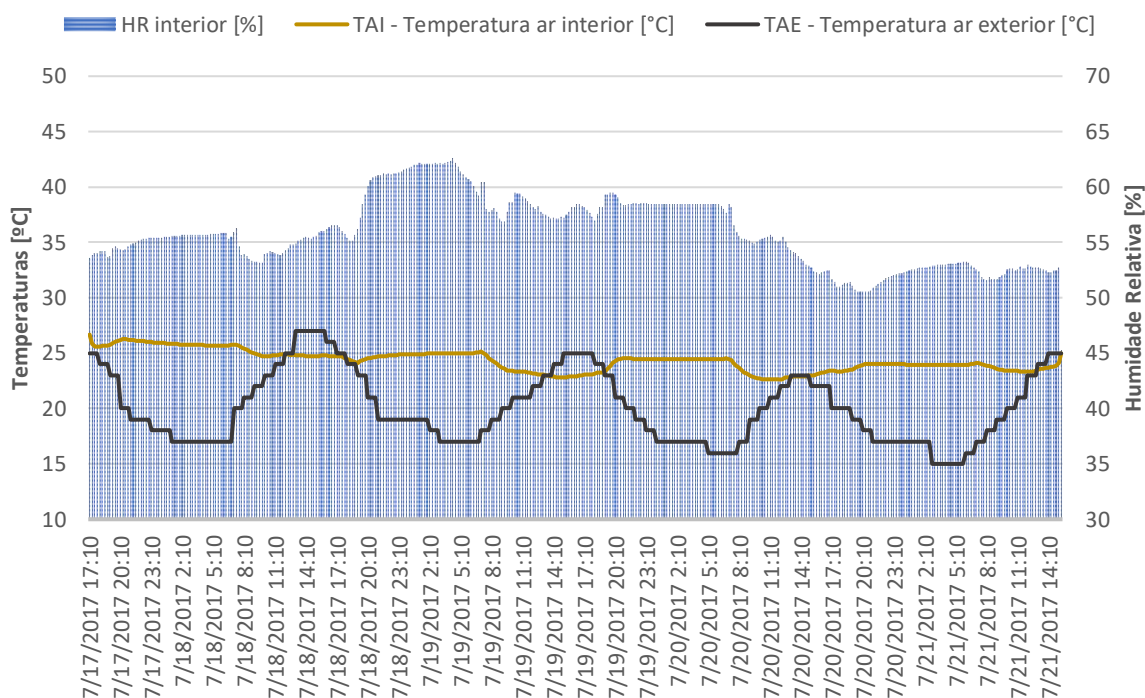
Data	TAI		TAE	
	Temperatura máxima diária interior	Temperatura mínima diária interior	Temperatura máxima diária exterior	Temperatura mínima diária exterior
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
17/07/2017	27	26	25	18
18/07/2017	26	24	27	17
19/07/2017	25	23	25	17
20/07/2017	25	23	23	16
21/07/2017	25	23	25	15

Os níveis de dióxido de carbono estão representados na Figura 39, a partir do qual é possível verificar que se encontram dentro dos valores regulamentares [19]:



**Figura 38** - Concentração de CO2 interior, Gabinete 505/506

A evolução dos valores medidos de humidade relativa, temperatura do ar exterior e temperatura do ar interior durante o período de monitorização do gabinete 5.05/5.06 está apresentada na Figura 40.



**Figura 39** – Evolução dos parâmetros monitorizados do Gabinete 505/506 durante o período de 17 de julho a 21 de julho.

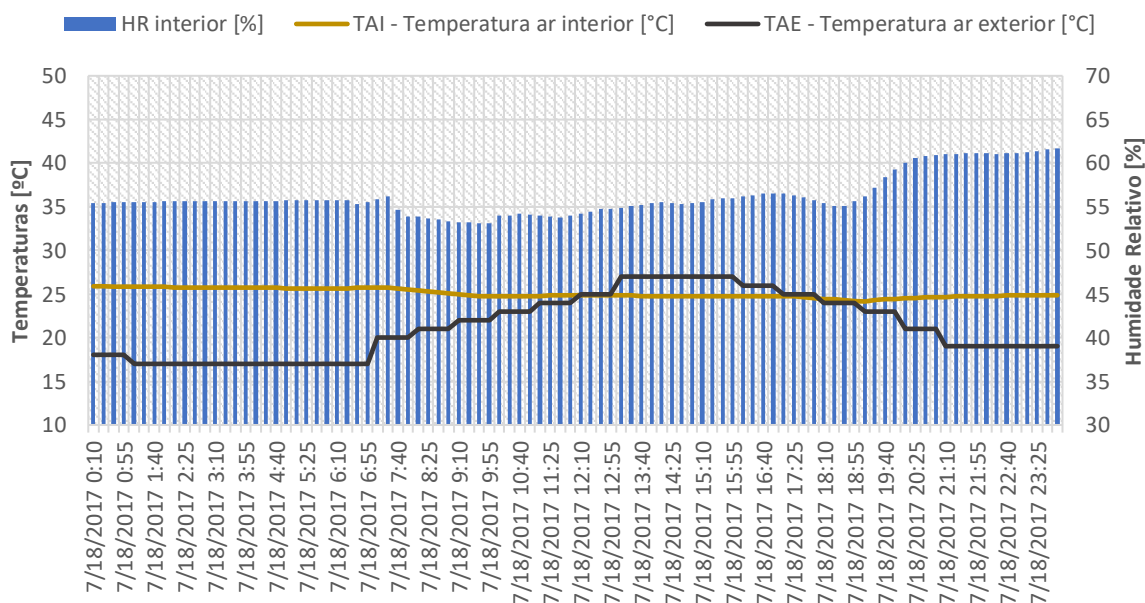
É de notar que, à medida que as temperaturas exteriores (TAE) aumentam, as temperaturas no interior do gabinete (TAI) diminuem. Este facto é explicado pela presença dos sistemas de climatização em funcionamento dentro do espaço de trabalho. Um exemplo pode ser verificado no dia 19 de julho, onde às 07:55 se registavam temperaturas interiores de 24,5°C e exterior de 18° C e às 13:55 a temperatura interior diminuiu igualando à temperatura exterior quando ambas atingem 23°C. O oposto acontece quando analisamos o período noturno. No mesmo dia 18 de julho é possível notar que às 04:55, as temperaturas exteriores descem até 17°C enquanto que as temperaturas interiores se mantêm a 24°C. Durante este período noturno os sistemas de climatização estão desligados. Analisando esse último facto, é possível concluir que, quando o sistema de climatização tipo AVAC não se encontra em funcionamento, as temperaturas interiores não tendem a acompanhar as temperaturas exteriores. Ou seja, em período noturno, as temperaturas no interior do gabinete não diminuem, tendo por vezes ligeiros aumentos e.g. no dia 19 de julho, no intervalo de tempo desde as 18:55 até às 19:55 há um aumento de aproximadamente 2°C. Note-se que o sistema de climatização é desligado por volta das 19:00.

Ao avaliar as condições de humidade relativa foi de notar que se obtiveram valores mais baixos na simulação com software comparativamente aos valores medidos durante as campanhas de monitorização para ambos os gabinetes. Este facto poderá ser justificado pelo aumento da presença de ocupantes que não foram contabilizados na simulação com o software. Outro facto importante a reter recai sobre as oscilações que se conseguem observar na evolução da humidade relativa durante o período de monitorização. Ao acionar o sistema de climatização por volta das 8:00 horas é possível analisar um decréscimo dos níveis de humidade relativa, uma vez que o sistema AVAC tem a

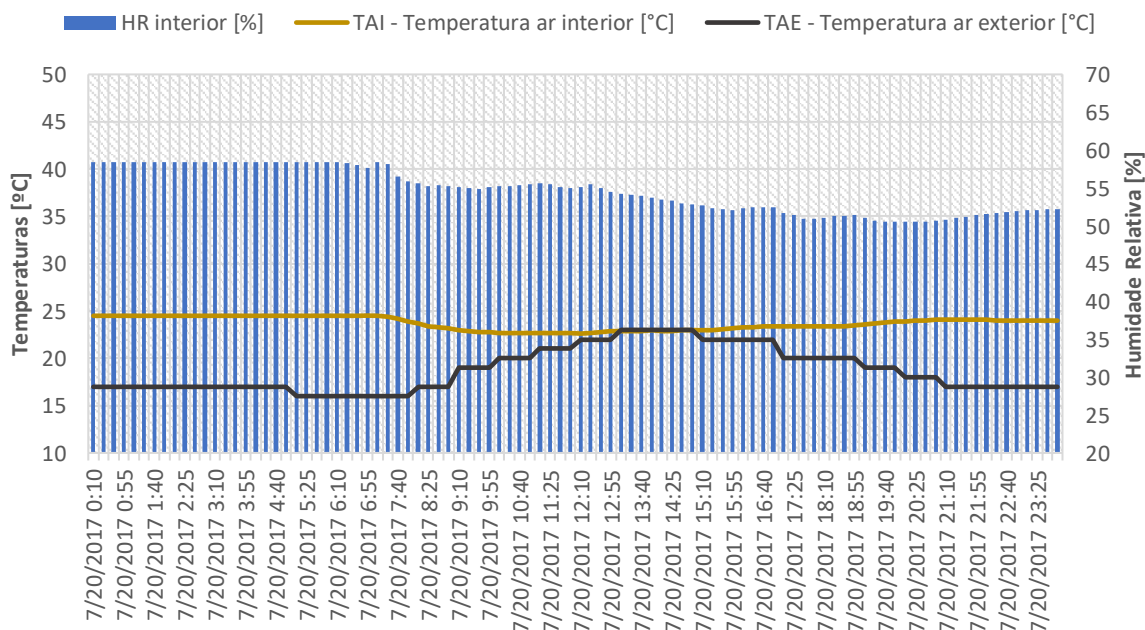


responsabilidade de manter os níveis de conforto no interior dos compartimentos, não atingindo valores abaixo de 50%.

Procede-se de seguida à avaliação mais pormenorizada para o dia com maior número de horas de incidência solar, 18 de julho, e para o dia com menos número de horas de incidência Solar, 20 de julho.



**Figura 40** – Evolução da TAI e da TAE; Humidade relativa interior [18/07/2017]



**Figura 41** - Evolução da TAI e da TAE; Humidade relativa interior [20/07/2017]

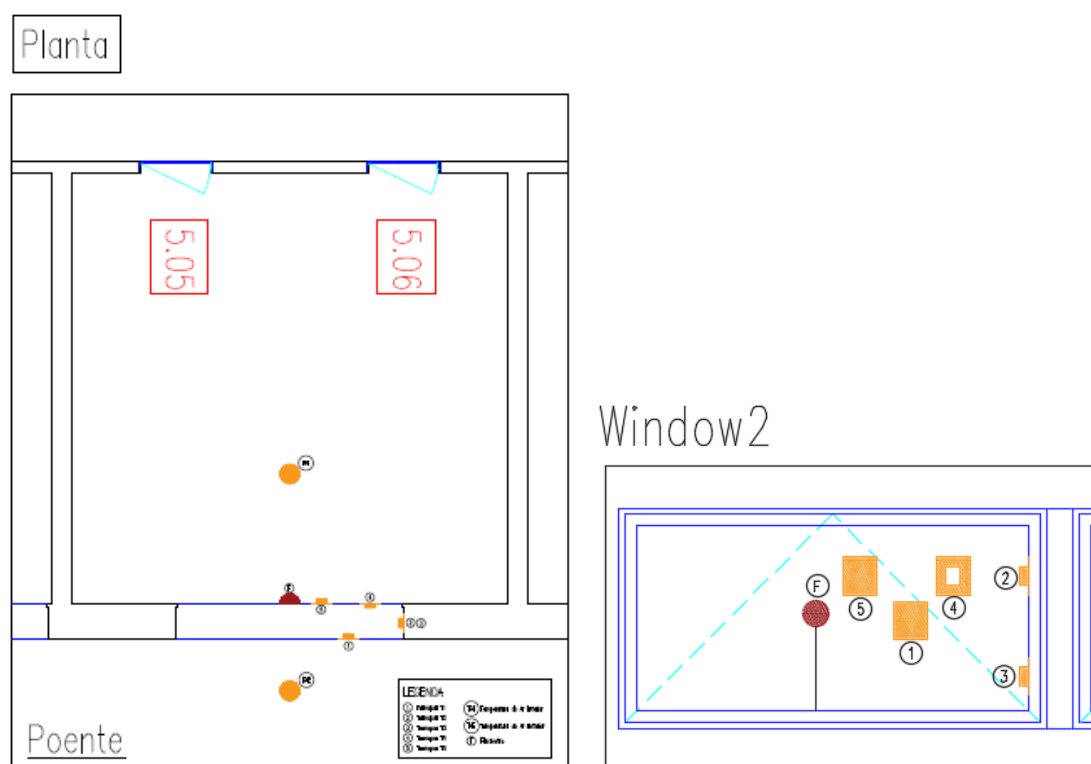


Outro aspeto a realçar prende-se com a evolução da humidade relativa interior. Como é possível observar, a humidade é controlada assim que o sistema AVAC entra em funcionamento, fazendo com que o seu valor converge para o 50%, valor considerado como ideal. Facilmente se percebe que no dia 18 de julho, (em que existe maior incidência solar). Assim, os valores da humidade relativa interior encontram-se no intervalo entre 45% e 63%, o que significa que os valores medidos se encontram dentro do intervalo de conforto de referência [12].

Embora as temperaturas exteriores sejam superiores no dia 18 de julho, não se registaram aumentos significativos da TAI comparativamente ao dia 20 de julho devido ao sistema AVAC em funcionamento permanente durante o período laboral.

Com o objetivo de caracterizar os fatores que influenciam o comportamento térmico dos gabinetes, estudou-se o fluxo de calor e as temperaturas superficiais dos vãos envidraçados. Para isso procedeu-se à monitorização da janela 2 através do *Data Logger AT DL2e*.

Para uma melhor compreensão da medição das temperaturas superficiais procedeu-se à elaboração de um esquema representativo exemplificando a nomenclatura dos termopares, assim como do fluxímetro e das temperaturas do ar exteriores e interiores [Figura 43].

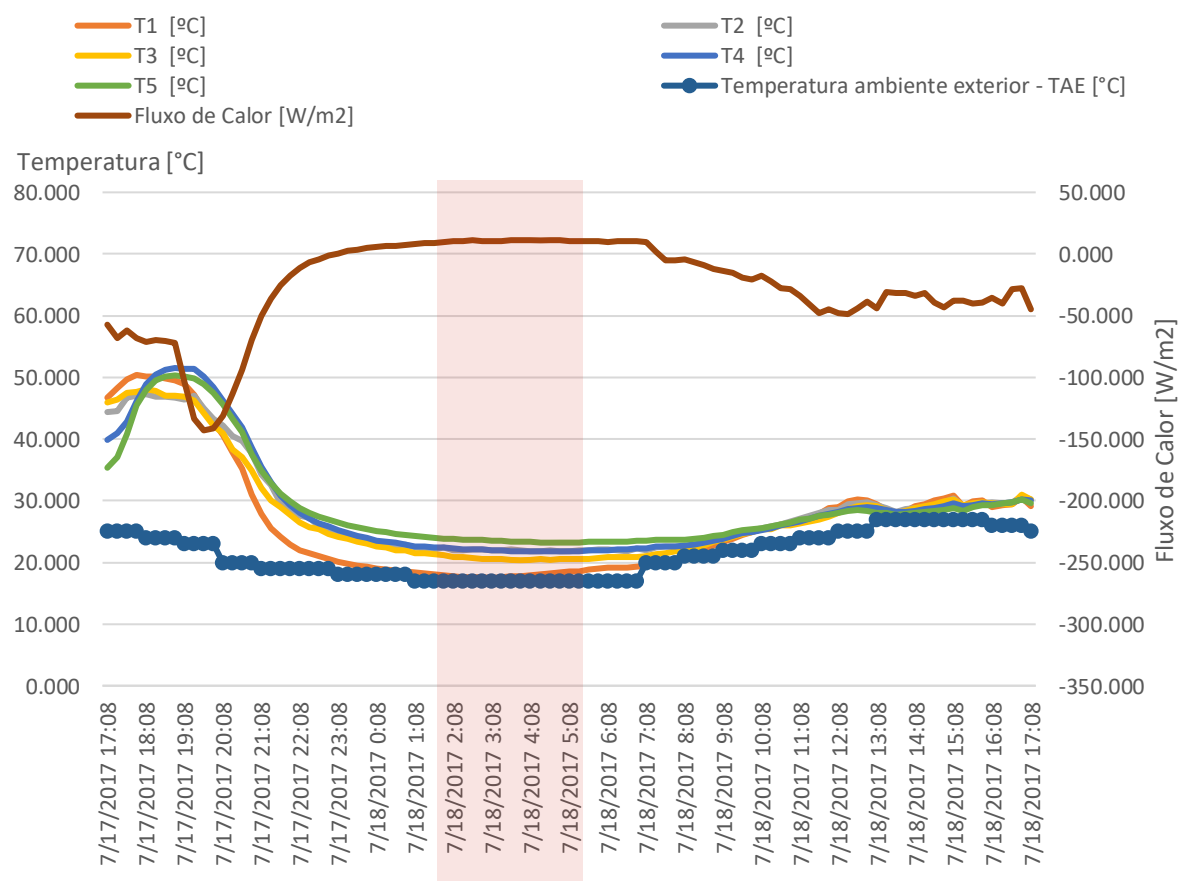


**Figura 42** - Esquema da implantação dos pontos de medição: planta do Gabinete 5.05/5.06 (lado esquerdo), alçado poente (lado direito)

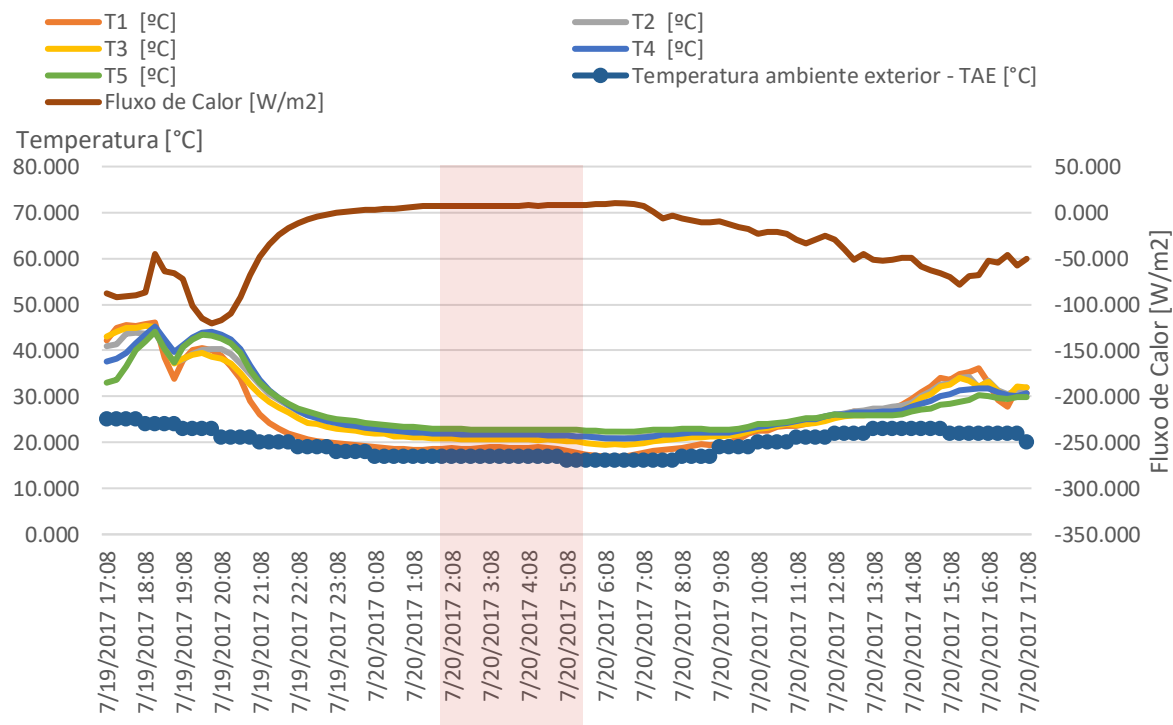
Neste piso foram recolhidas informações relativamente a fluxos de calor, temperaturas superficiais interiores e exteriores, temperaturas ambiente interior e exterior e humidade relativa interior. Como complemento ao ensaio descrito anteriormente, apresenta-se de seguida uma lista referente aos sensores localizados no gabinete:

- T1: temperatura superficial interior do vidro exterior, colocado a 1.40 metros de altura desde o pavimento [°C]
- T2: temperatura superficial interior do espaço de ar, colocado a 1.65 metros de altura desde o pavimento [°C]
- T3: temperatura superficial interior do espaço de ar, colocado a 1.10 metros de altura desde o pavimento [°C]
- T4: temperatura superficial exterior do vidro interior, colocado a 1.40 metros de altura desde o pavimento [°C]
- T5: temperatura superficial interior do vidro interior, colocado a 1.35 metros de altura desde o pavimento [°C]
- F: fluxímetro localizado na superfície interior do vidro interior, colocado a 1.50 metros de altura desde o pavimento [mV]

Quando se visa a análise do fluxo de calor e das respetivas temperaturas superficiais do vidro, pode-se concluir que o fluxo de calor tem um comportamento estacionário durante grande parte do período noturno, nomeadamente entre as 02:53 até às 05:53, uma vez que se mantém aproximadamente constante durante todo este período de tempo. Este período está representado a sombreado, para os mesmos dias analisados no ensaio anterior [Figuras 44 e 45]. O gráfico completo encontra-se em Anexo 2.



**Figura 43** - Período estacionário [18/07/2017], gabinete 5.05/5.06



**Figura 44** - Período estacionário [20/07/2017], gabinete 5.05/5.06

Durante o período em que se regista um regime estacionário, é possível notar que a diferença entre a temperatura superficial T1 e a temperatura superficial interior T5 é de aproximadamente 5°C em ambos os dias. Com base nisso e no pressuposto do regime estacionário, foram calculados os seguintes parâmetros:

- ✓ Resistência térmica da caixa de ar da janela dupla [(m².°C)/W]
- ✓ Resistência térmica do vidro [(m².°C)/W]
- ✓ Resistência térmica superficial interior [(m².°C)/W]
- ✓ Resistência térmica superficial exterior [(m².°C)/W]
- ✓ Temperatura superficial exterior do vidro exterior ( $\theta_{se,VE}$ ) [°C]

É importante salientar que no cálculo foram admitidos os seguintes pressupostos:

- O fluxo mantém-se constante durante o período noturno no intervalo de tempo entre as 02:53 e as 05:53;
- O fluxo de calor que atravessa o vidro duplo interior é aproximadamente igual ao fluxo de calor que atravessa o vidro simples exterior;
- Considera-se que o envidraçado não contempla películas ou capas de baixa emissividade;
- Considera-se que o envidraçado tem o valor médio de condutibilidade térmica expresso pelo ITE 50 de  $\lambda = 1 \text{ W/(m.°C)}$  (vidro sódico-calcário) [13].

Admite-se as seguintes dimensões para os cálculos:

**Tabela 5** - Dimensões para o calor do fluxo de calor através do número de Raleigh

DIMENSÕES [M]		
<b>VIDRO EXTERIOR [VIDRO SIMPLES]</b>	0,008	
<b>H</b>	0,74	altura caixa de ar
<b>L</b>	0,416	largura caixa de ar
<b>VIDRO INTERIOR [VIDRO DUPLO]</b>	0,01	lâmina vidro exterior
	0,008	lâmina de ar
	0,008	lâmina vidro interior

Para o cálculo da resistência térmica da caixa de ar da janela dupla, teve-se em consideração a lei de arrefecimento de Newton:

$$q_{conv} = h_c \cdot (T_1 - T_2)$$

Em que  $q_{conv}$ , expresso em  $W/m^2$ , é caracterizando como sendo o fluxo de calor por convecção, em que  $h_c$  a condutância térmica superficial por convecção, e  $T_1$  e  $T_2$  caracterizam-se como sendo as temperaturas superficiais e/ou as temperaturas ambiente, sendo  $T_1$  maior que  $T_2$ . De outra forma, podemos considerar que o fluxo de calor é expresso em função da resistência térmica do material ou fluído considerado:

$$q_{conv} = \frac{(T_1 - T_2)}{R}$$

Sabendo que a condutibilidade do vidro é igual a  $1 W/(m \cdot ^\circ C)$ , e considerando que a resistência térmica do vidro é dada pelo somatório das resistências térmicas das camadas constituintes do vidro, é considerada a seguinte expressão:

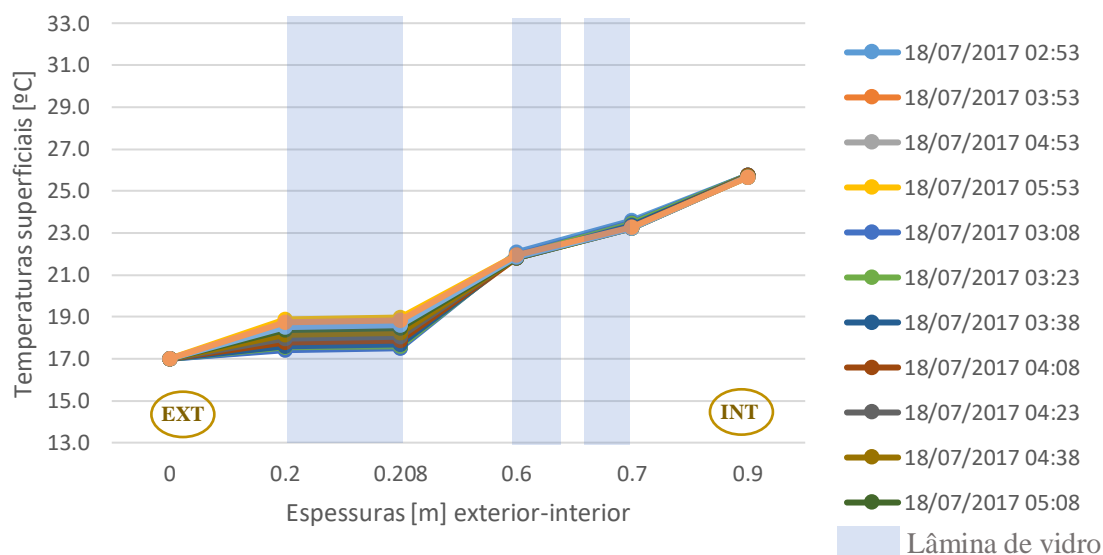
$$R_{vidro} = \sum \frac{e_{vidro}}{\lambda_{vidro}}$$

expressa em  $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ .

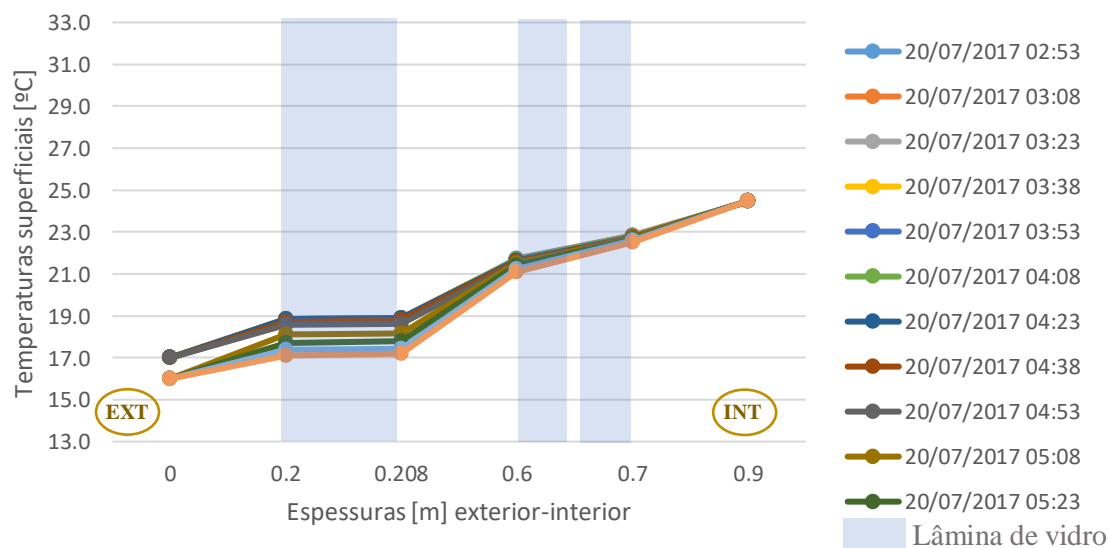
Sabendo os valores medidos pelo *data logger Delta T* das temperaturas superficiais dos vidros e admitindo um valor de  $0.134 (m^2 \cdot ^\circ C)/W$  para a resistência térmica do envidraçado do gabinete

5.05/5.06, obtiveram-se os valores das resistências térmicas superficiais e da temperatura superficial do vidro exterior apresentados no Anexo 3.

Apresenta-se nas figuras 46 e 47 a evolução das temperaturas na secção transversal da janela dupla de acordo com os valores assim calculados em cada caso.



**Figura 5. 45** - Temperaturas superficiais do gabinete 5.05/5.06 [18/07/2017]



**Figura 46** - Temperaturas superficiais do gabinete 5.05/5.06 [20/07/2017]

Analisando as figuras anteriores, verifica-se que o fluxo de calor tem o sentido do interior para o exterior e diferenças de temperatura entre  $\theta_{se,VE}$  e  $T_5$ , compreendidas entre 4 e 5 °C.

Numa análise paralela, surge a necessidade de verificar a validade do pressuposto relacionado com o regime de transmissão de calor em regime estacionário. Nesse sentido, procedeu-se ao cálculo do fluxo de calor por via analítica através da determinação do número de Nusselt.

A determinação do número de Nusselt, Nu, pode ser feita através de equações empíricas, que diferem consoante o valor do número de Raleigh, Ra. Por sua vez, o número de Raleigh é uma grandeza adimensional resultado do produto entre os números de Grashof, Gr, e de Prandtl, Pr (para gases varia entre 0.7 e 1.0), e que tem a seguinte formulação:

$$Ra = Gr \cdot Pr$$

Podendo ser expressa da seguinte forma:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_4 - T_1) \cdot \delta^3}{\nu^2} \cdot Pr$$

Sendo  $\nu$  a viscosidade cinemática (aproximadamente  $1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  para gases),  $\delta$  a espessura do espaço de ar [m], e  $\beta$  é o coeficiente de dilatação térmica volumétrica [ $\text{K}^{-1}$ ] que é dado pelo inverso da temperatura de filme,  $T_f$ , associado à diferença de temperatura entre duas superfícies.

Caracterizado o espaço da caixa de ar como regime laminar resultado do valor obtido para o número de Raleigh, considera-se a relação entre Ra e Nu para espaços de ar verticais com ventilação natural [10]:

$$Nu = 0.59 \cdot Ra^{1/4}$$

O número de Nusselt está relacionado com a condutância térmica por convecção:

$$h_c = \frac{\lambda \cdot Nu}{L}$$

Em que L é dado pela espessura da caixa de ar, em metros.

Assim, é possível determinar o fluxo de calor que atravessa a caixa de ar por convecção,  $Q_c$ , em  $\text{W}/\text{m}^2$ :

$$Q_c = h_c \cdot (T_4 - T_1)$$

Ao comparar os valores do fluxo de calor medidos relativamente aos calculados, pode-se afirmar que o fluxo calculado se aproxima do valor medido, como está representado na Tabela 6.

**Tabela 6** - Valores comparativos entre o fluxo de calor medido in situ [Q medido in situ] e o calculado através do número de Raleigh [Qc] para o dia 18/07/2017 (à esquerda) e para o dia 20/07/2017 (à direita)

#	DATA/HORA	Q MEDIDO IN SITU	Qc	#	DATA/HORA	Q MEDIDO IN SITU	Qc
		[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]			[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]
18/07/2017	18/07/2017 02:53	10,7	12,3	20/07/2017	20/07/2017 02:53	7,4	7,3
	18/07/2017 03:08	10,7	12,1		20/07/2017 03:08	7,5	6,7
	18/07/2017 03:23	10,8	11,5		20/07/2017 03:23	7,5	6,7
	18/07/2017 03:38	10,9	11,0		20/07/2017 03:38	7,5	6,7
	18/07/2017 03:53	11,0	10,8		20/07/2017 03:53	7,5	6,8
	18/07/2017 04:08	10,9	10,2		20/07/2017 04:08	7,6	6,7
	18/07/2017 04:23	11,1	9,9		20/07/2017 04:23	7,7	6,5
	18/07/2017 04:38	10,9	9,9		20/07/2017 04:38	7,8	6,7
	18/07/2017 04:53	10,9	8,7		20/07/2017 04:53	7,9	6,9
	18/07/2017 05:08	10,7	8,4		20/07/2017 05:08	8,0	8,8
	18/07/2017 05:23	10,7	8,1		20/07/2017 05:23	8,4	9,3
	18/07/2017 05:38	10,6	7,7		20/07/2017 05:38	8,6	9,8
	18/07/2017 05:53	10,5	7,3		20/07/2017 05:53	9,1	10,2
	<b>Valor Médio</b>	<b>10,8</b>	<b>9,8</b>		<b>Valor Médio</b>	<b>7,9</b>	<b>7,6</b>

## 5.4. CASO DE ESTUDO 2: GABINETE 6.16

No segundo caso de estudo foram realizadas medições no gabinete designado como 6.16. A escolha deste gabinete para ensaios foi baseada nos resultados obtidos pelos questionários realizados na fase preliminar. Este espaço de trabalho tem uma orientação Solar de 184° a Sul e, como tal, apresenta uma grande exposição Solar.

De modo a avaliar as condições de conforto térmico no espaço 6.16 procedeu-se à instalação dos equipamentos referidos no primeiro subcapítulo do presente capítulo para a sua monitorização de forma automática.

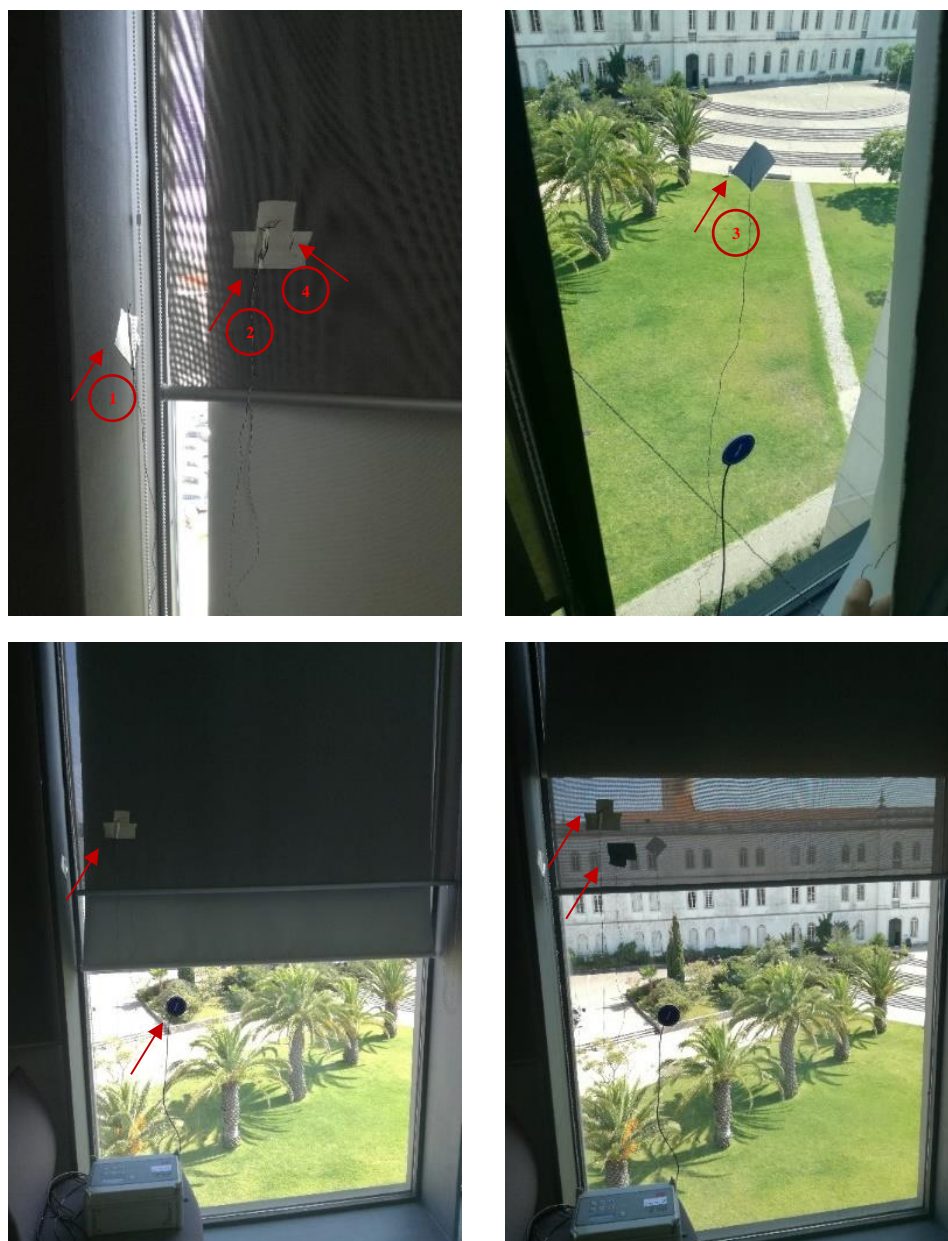
### 5.4.1. Procedimento experimental

O procedimento experimental foi semelhante ao adotado no caso do gabinete 5.05/5.06.

Para a monitorização automática das condições de conforto térmico, foram instalados os seguintes aparelhos: *data logger Delta T* associado ao uso de cinco termopares e de um sensor de medição de

fluxo de calor do tipo Hukseflux HFP01, um aparelho móvel *Sensor TEL-7001 CO<sub>2</sub>* de medição de temperatura e dióxido de carbono e o respetivo adaptador *Hobo UI2-13* de medição de humidade relativa. Em laboratório, calibrou-se o *data logger Delta T* com medições contínuas durante um período de dois dias, e com dois turnos de 5 horas em cada um dos dias, manhã e tarde.

A ligação dos termopares e do fluxímetro ao *data logger Delta T* está representado na figura do subcapítulo 5.1.1 [Figura 32]. Os termopares foram acoplados nos canais 2, 3, 4, 5 e 6 enquanto que o fluxímetro foi acoplado no canal 7. Procedeu-se à instalação dos cinco termopares e do fluxímetro no envidraçado central da fachada, como mostra a figura seguinte [Figura 48].



**Figura 47-** Início de monitorização: procedimento e fixação dos termopares e do fluxímetro no gabinete 6.16

Como já foi referido no capítulo 3, o ensaio foi realizado durante o período diurno e noturno, no período desde as 12:00 de dia 21 de agosto de 2017 até às 15:30 de dia 25 de agosto de 2017.



É importante para a análise que se segue, salientar que o sistema de climatização deste gabinete apenas esteve em funcionamento nos dias 23 a 25 das 9:00 às 19:00.

#### 5.4.2. Análise de resultados

Para a análise e resultados selecionaram-se dois dias para comparação: dia 22 de agosto e dia 24 de agosto, em que no primeiro dia não se verifica o funcionamento do sistema de climatização devido a ausência dos utentes em período de férias. Já no segundo dia, o sistema de climatização se encontra em funcionamento no período laboral.

Durante a semana de monitorização, as temperaturas exteriores encontram-se no intervalo de valores de 46°C até 14°C, e no interior de 44°C até 24°C.

Foram medidas e registadas in situ as seguintes grandezas físicas:

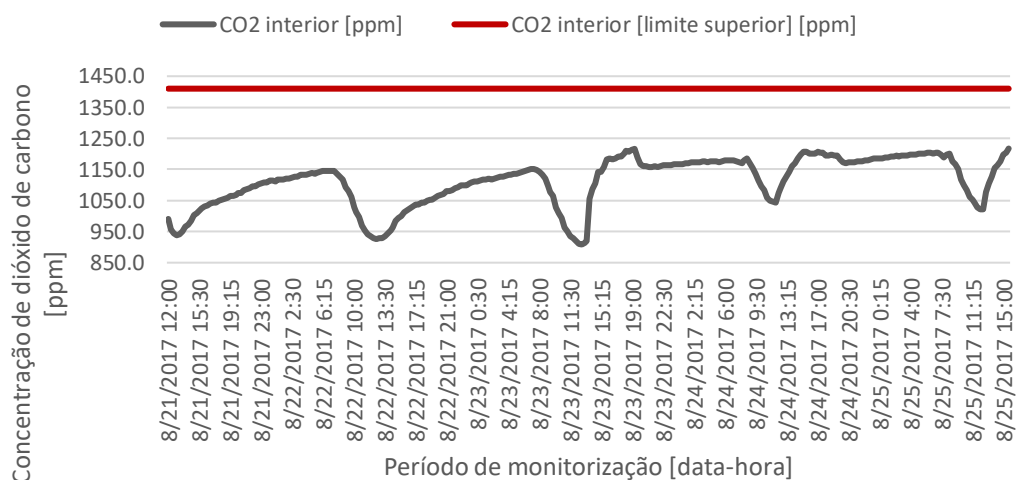
- Temperatura média horária exterior [°C]
- TAI: Temperatura do ar interior, de 15 em 15 minutos [°C]
- TAE: temperatura do ar exterior horária [°C]
- Humidade relativa interior [%]
- Nível de dióxido de carbono interior [ppm]
- Nível de dióxido de carbono médio semanal exterior [ppm]
- Fluxo de calor [W/m<sup>2</sup>]

Conforme mostra a Tabela 7, a temperatura máxima exterior e interior verifica-se no dia 23 de agosto, atingindo o valor de 46°C e 44°C, respetivamente.

**Tabela 7-** Temperaturas máximas e mínimas interiores e exterior, gabinete 6.16 [21/08/2017 - 25/08/2017]

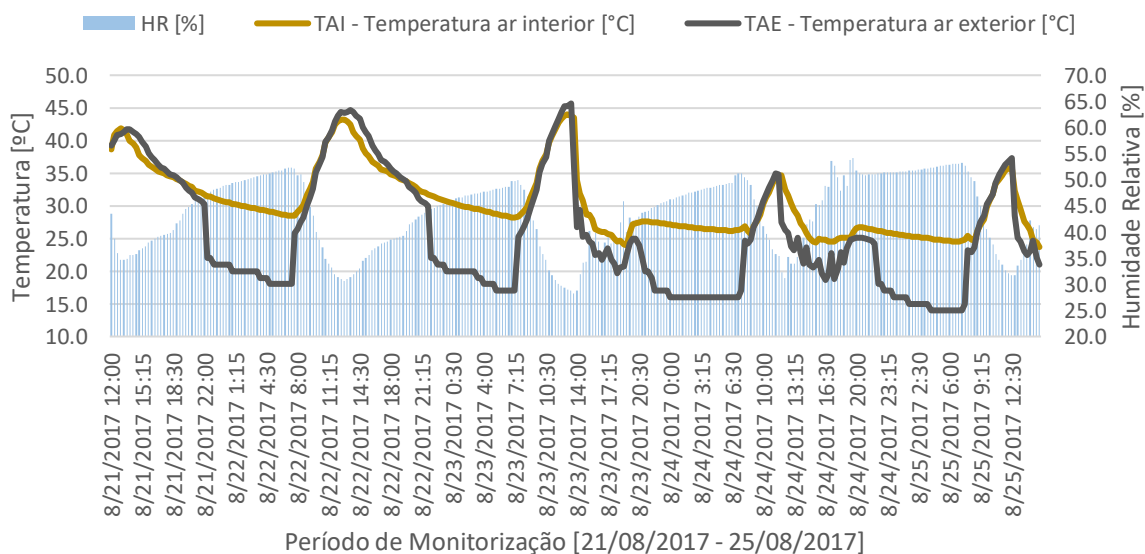
Data	INTERIOR		EXTERIOR	
	Temperatura máxima diária interior	Temperatura mínima diária interior	Temperatura máxima diária exterior	Temperatura mínima diária exterior
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
21/08/2017	42	31	42	21
22/08/2017	43	28	45	18
23/08/2017	44	24	46	17
24/08/2017	35	24	35	16
25/08/2017	36	24	37	14

Os níveis de dióxido de carbono estão representados na figura seguinte [Figura 49], não registando valores fora do intervalo recomendado [11]:



**Figura 48** - Concentração de CO2 interior

Após a semana de monitorização do gabinete com auxílio do *Sensor TEL-7001 CO<sub>2</sub>* para medições da TAI e do CO<sub>2</sub> e do *Hobo U12-13* para medições da humidade relativa, obteve-se os seguintes resultados que estão representados na figura [Figura 50]:

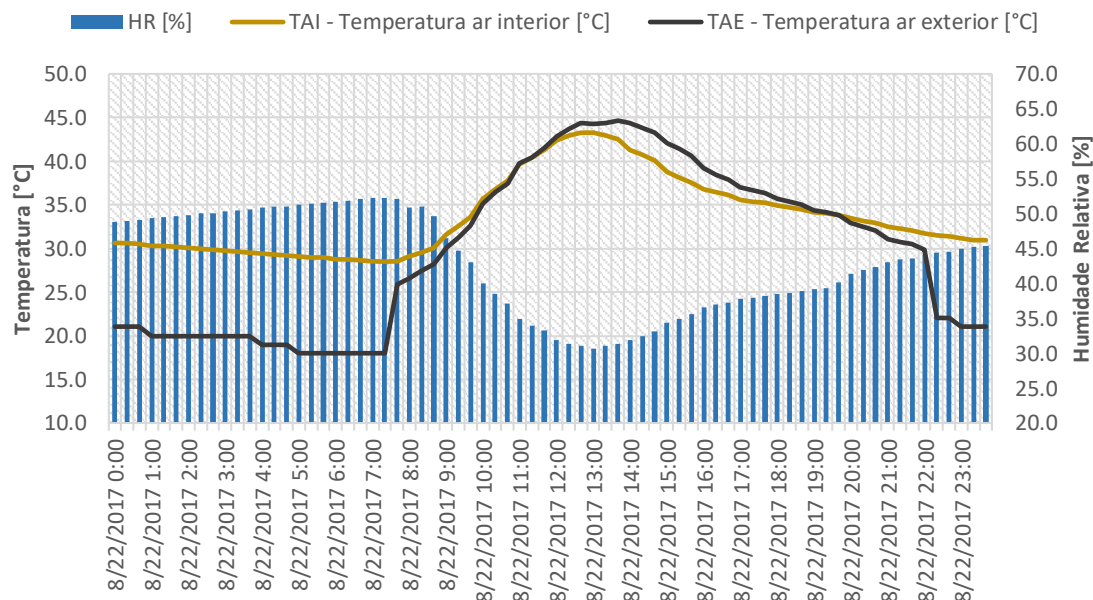


**Figura 49** - TAI comparativamente com a TAE; Humidade relativa interior

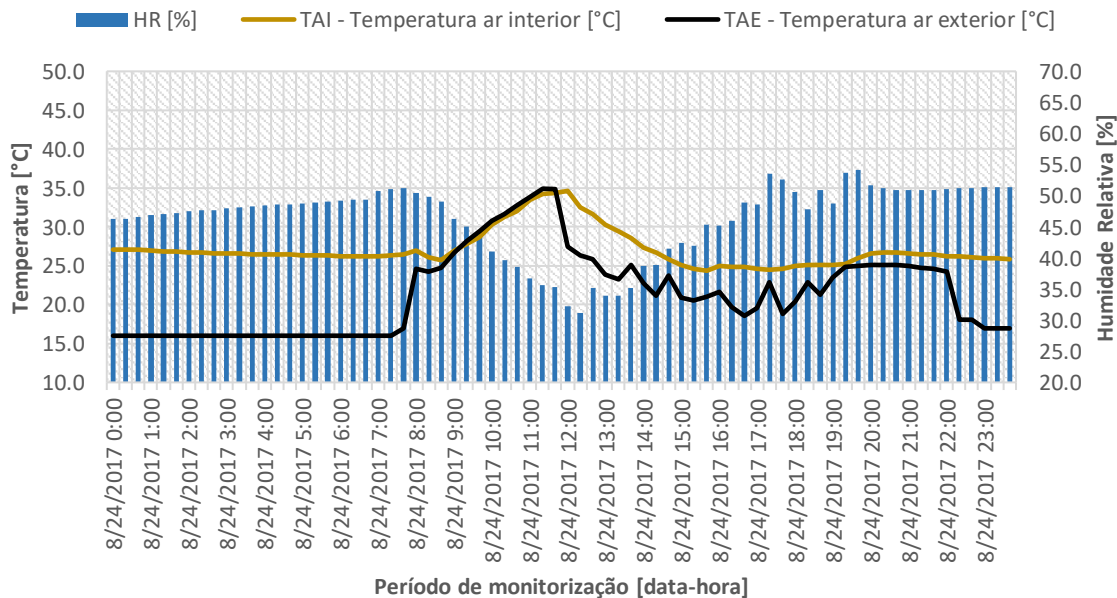
Note-se que o período diurno durante o período de monitorização acontece desde as 07:00 até às 20:30 horas. Da Figura 50 é possível analisar que, as temperaturas interiores acompanham as temperaturas exteriores, atingindo valores mínimos de 23.7°C e máximos de 44°C para o período diurno, e valores mínimos de 24.6°C e máximos de 32.9°C durante o período noturno.

Verifica-se que, para as condições de conforto durante o verão [9], mais de 80% das temperaturas medidas encontram-se acima do recomendado, ou seja, acima de 25°C. Por outro lado, a humidade relativa interior encontra-se dentro dos valores de referência [12].

Procede-se, então, a análise das temperaturas exteriores e interiores e dos níveis de humidade relativa interior para os dias 22 e 24 de agosto.



**Figura 50** - TAI comparativamente com a TAE; Humidade relativa interior [22/08/2017]



**Figura 51** - TAI comparativamente com a TAE; Humidade relativa interior [24/08/2017]

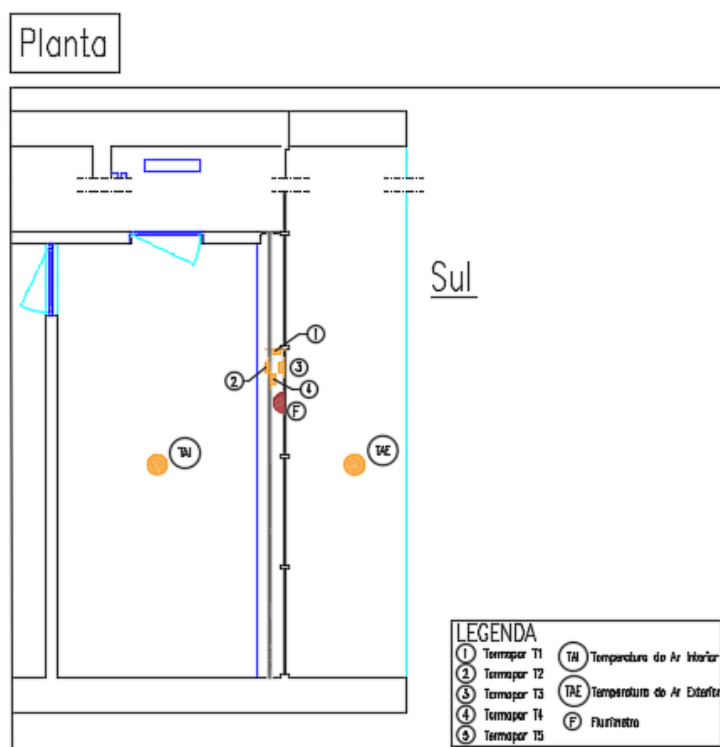
No dia 22, sem o sistema de arrefecimento ligado e sem permanência de pessoas, os valores de TAI atingem 44°C, ultrapassando em 19°C o limite regulamentar [9].

É evidente o excesso de temperatura que se faz sentir no interior do gabinete para o dia em que não esteve em funcionamento o sistema de climatização.

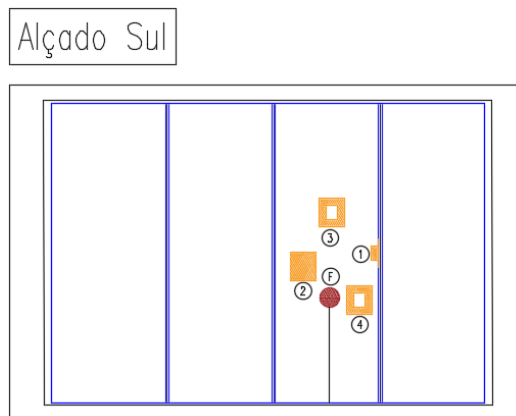
O mesmo acontece no dia 24 de agosto, em que as temperaturas atingem 35°C no interior enquanto está em funcionamento o sistema de arrefecimento.

Relativamente aos valores da humidade relativa no interior, estes mantêm valores aproximadamente iguais quando ambos os dias são analisados, e que variam num intervalo desde 28% e 54%.

De forma a detalhar a análise dos resultados obtido através do *Data Logger AT DL2e*, procedeu-se à elaboração de um esquema representativo exemplificando a nomenclatura dos termopares, assim como, do fluxímetro e das temperaturas do ar exterior e interior [Figuras 53 e 54].



**Figura 52** - Planta de pontos de fixação para monitorização, gabinete 6.16



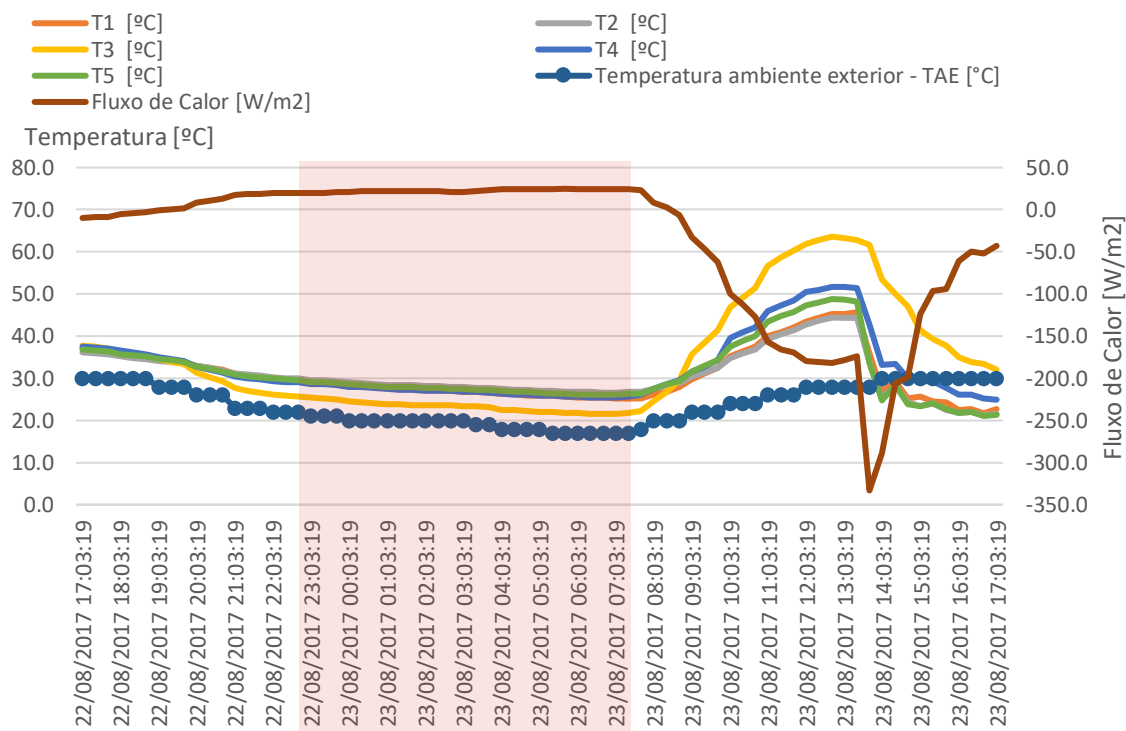
**Figura 53** - Alçado de pontos de fixação para monitorização, gabinete 6.16

Neste piso foram recolhidas informações relativamente a fluxos de calor, temperaturas superficiais interiores e exteriores, temperatura ambiente interior e exterior e humidade relativa interior. Como complemento ao ensaio anterior descrito neste subcapítulo, apresenta-se de seguida uma lista referente aos sensores localizados no gabinete:

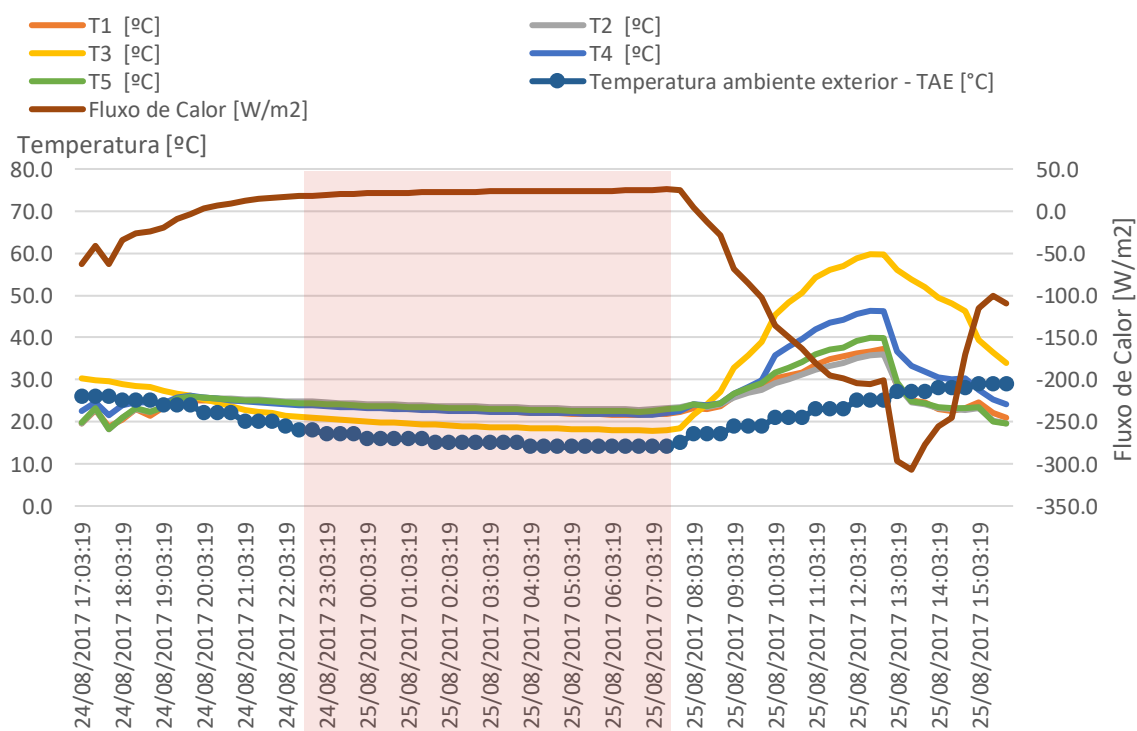
- T1: temperatura superficial interior da caixilharia de ferro, colocado a 1.50 metros de altura desde o pavimento [°C]
- T2: temperatura superficial interior da proteção opaca, colocado a 1.46 metros de altura desde o pavimento [°C]
- T3: temperatura superficial interior do vidro duplo, colocado a 1.60 metros de altura desde o pavimento [°C]
- T4: temperatura superficial exterior da proteção opaca, colocado a 1.40 metros de altura desde o pavimento [°C]
- T5: temperatura superficial interior da proteção translúcida, colocado a 1.60 metros de altura desde o pavimento [°C]
- F: fluxímetro localizado na superfície interior do vidro duplo, colocado a 1.20 metros de altura desde o pavimento [mV]

Ao analisar o fluxo de calor e as respetivas temperaturas superficiais do vidro, pode-se concluir que o fluxo de calor tem um comportamento estacionário durante grande parte do período noturno, nomeadamente entre as 22:18 até às 07:18, em que o fluxo de mantém aproximadamente constante.

Este período estacionário está representado a sombreado nas figuras 5.55 e 5.56, dando foco aos dias 22 e 24 de agosto (gráfico completo em anexo [Anexo 4]).



**Figura 54** - Período estacionário [22/08/2017], gabinete 6.16



**Figura 55** - Período estacionário [24/08/2017]

De facto, a temperatura superficial interior do envidraçado ( $T_3$ ) é consideravelmente superior às restantes temperaturas medidas in situ durante o período diurno e relativamente inferior durante o período noturno. Em ambas as situações, as temperaturas atingem valores superiores à temperatura exterior medida (TAE).

Para cada um dos períodos estacionários analisados e após as medições in situ, foi possível calcular as seguintes grandezas físicas:

- ✓ Resistência térmica da caixa de ar da janela dupla  $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$
- ✓ Resistência térmica do vidro  $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$
- ✓ Resistência térmica superficial interior  $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$
- ✓ Resistência térmica superficial exterior  $[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$
- ✓  $\Theta_{se,VE}$ : Temperatura superficial exterior do vidro exterior  $[^\circ C]$

É importante salientar que se foram consideradas as seguintes suposições:

- O fluxo se mantém constante durante o período noturno no intervalo de tempo desde as 22:18 até às 07:18
- Considera-se que o envidraçado não contém tratamentos especiais contra radiação ultravioleta
- Considera-se que o envidraçado tem o valor médio de condutibilidade térmica expresso pelo ITE50 [13] de  $\lambda=1 \text{ W/m} \cdot ^\circ C$  (vidro sódico-calcário)

Foram admitidas as anteriores suposições uma vez que não existia informação disponível sobre o tipo de envidraçado e as suas características específicas.

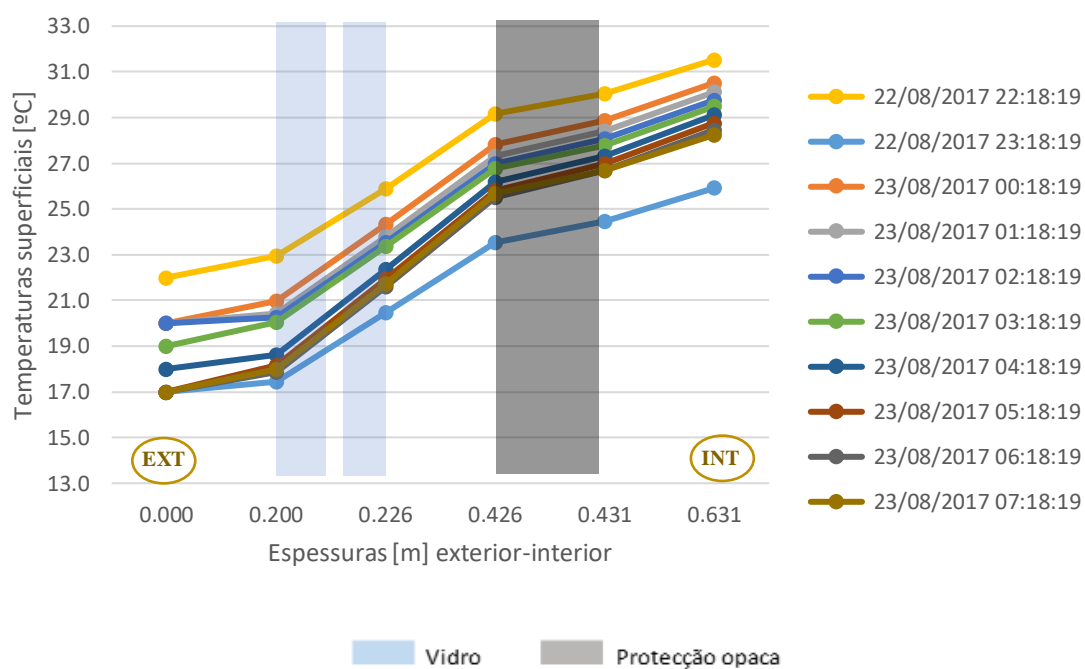
Admite-se as seguintes dimensões para os seguintes cálculos:

**Tabela 8** - Dimensões consideradas para cálculos

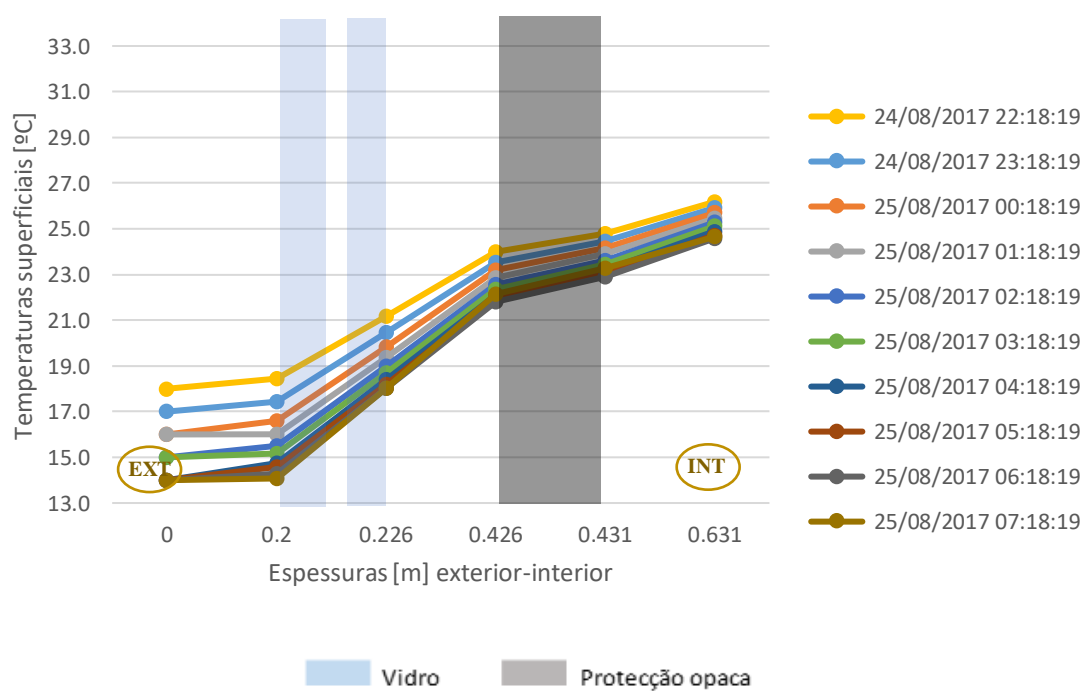
<b>DIMENSÕES [M]</b>		
<b>VIDRO [VIDRO DUPLO]</b>	0,01	Lâmina exterior
	0,008	Lâmina de ar
	0,008	Lâmina interior

Para o cálculo da temperatura superficial exterior do envidraçado, considerou-se o mesmo raciocínio de cálculo usado no capítulo 5.2.2 (Análise de resultados: gabinete 5.05/5.06).

Sabendo os valores medidos pelo *data logger Delta T* das temperaturas superficiais dos vidros e considerando um valor de  $0.152 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ C)/W$  para a resistência térmica do envidraçado do gabinete 6.16, obtiveram-se os valores das resistências térmicas superficiais e da temperatura superficial do vidro exterior [Anexo 5].



**Figura 56** - Temperaturas superficiais gabinete 6.16 [22/08/2017]



**Figura 57** - Temperaturas superficiais gabinete 6.16 [24/08/2017]

Para o período noturno observou-se que a diferença de temperatura entre a superfície exterior do vidro exterior ( $\theta_{se, VE}$ ) e a superfície interior do vidro interior ( $T_3$ ) é de:



- 8.2°C para o dia 24 de agosto, dia sem permanência de pessoas e com o sistema de arrefecimento desligado, obtendo valores máximos de 23°C para  $\theta_{se,VE}$  e de 31.2°C para T2
- 12.5°C para o dia 24 de agosto, dia com permanência de pessoas e com o sistema de arrefecimento ligado, obtendo valores máximos de 14°C para  $\theta_{se,VE}$  e de 26.5°C para T3



## 6. MODELAÇÃO

Com o objetivo da modelação dos espaços consiste na avaliação do comportamento térmico para condições extremas de conforto: situações em que os compartimentos se encontram sob a influência do sistema AVAC e situações em que o sistema AVAC se mantém desligado durante todo o período de modelação. Uma vez que os compartimentos se encontraram, durante as campanhas experimentais, com ocupação em período laboral, não houve assim possibilidade de estudar o comportamento térmico sem presença de AVAC. Desta forma, procedeu-se à avaliação através de softwares de modelação.

### 6.1. CARACTERIZAÇÃO DE VÃO ENVIDRAÇADOS EM WINDOW 7.4

O software WINDOW 7.4, desenvolvido pelo LBNL (Laboratório Nacional de Lawrence Berkeley) permite desenvolver um modelo geométrico e obter as suas características a partir de materiais com fabricantes conhecidos. e calcular o valor de U associado de acordo com a ISO 15099, assim como, os valores do respetivo modelo para o fator solar do envidraçado.

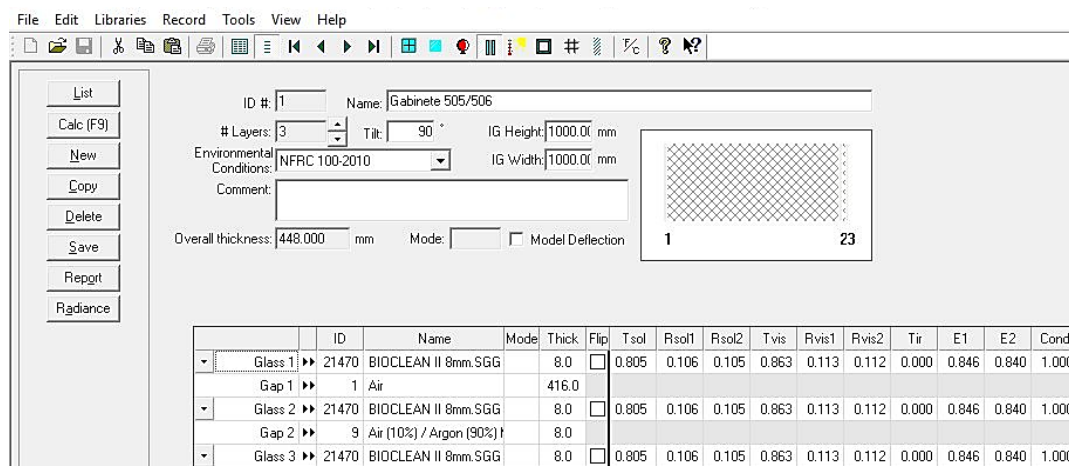
Procedeu-se à modelação do elemento construtivo dos vãos envidraçados de ambos os gabinetes de forma a determinar valores para o coeficiente de transmissão térmica e do fator solar.

#### 6.1.1. Gabinete 5.05/5.06

A solução construtiva adotada do vão envidraçado do gabinete 5.05/5.06 é caracterizada, do exterior para o interior, da seguinte forma:

- Vidro simples incolor de 8 mm de espessura;
- Caixa de ar de 416 mm de espessura;
- Vidro duplo laminado com 8 mm de espessura para a lâmina exterior, com uma caixa de ar de 8 mm de espessura e lâmina interior de 8 mm incolor.

Procedeu-se à modelação através do software como mostra a Figura 59.



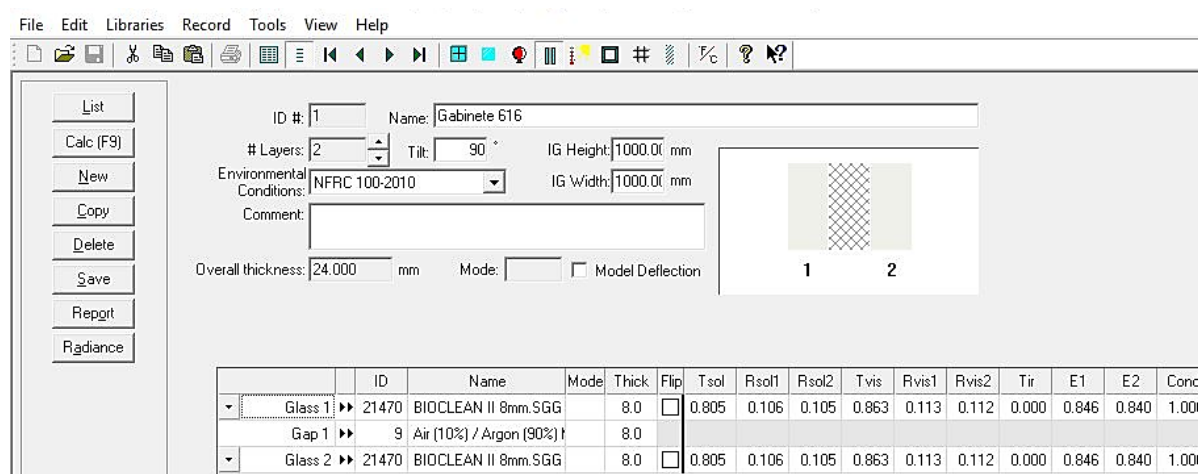
**Figura 58** - Modelação geométrica do vão envidraçado, gabinete 5.05/5.06, WINDOW 7.4

Na sequência da simulação obteve-se um coeficiente de transmissão térmica  $U$  de  $1.8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  e um fator Solar,  $g_L$  de 0.55.

### 6.1.2. Gabinete 6.16

A solução construtiva adotada para o vão envidraçado do gabinete 6.16 é caracterizada, por um vidro duplo laminado com 8 mm de espessura para a lâmina exterior, com uma caixa de ar de 8 mm de espessura e lâmina interior de 8 mm incolor.

Procedeu-se à modelação através do software como mostra a Figura 60.



**Figura 59** - Modelação geométrica do vão envidraçado, gabinete 6.16, WINDOW 7.4 software

Na sequência da simulação obteve-se um coeficiente de transmissão térmica  $U$  de  $2,7 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  e um fator Solar,  $g_L$  de 0.67.

## 6.2. MODELAÇÃO EM ENERGYPLUS

O *EnergyPlus* é um *software* que simula o comportamento térmico do edifício de forma a analisar e a simular as necessidades do mesmo. O software estima a necessidade de energia considerando o equilíbrio térmico entre o interior e exterior, com base nas informações meteorológicas e na caracterização do edifício, considerando a geometria, as soluções construtivas, cargas térmicas, sistemas de climatização, ventilação e padrões de ocupação [23].

Entre outros, o *EnergyPlus* permite prever, entre outros, as temperaturas interiores (ambiente e superficiais), cargas térmicas, fluxos de calor, consumos de energia, níveis de iluminação e caudais de ventilação natural. Uma grande vantagem no estudo do desempenho térmico de edifícios com o recurso ao *EnergyPlus*, é a capacidade que este software tem para fazer simulações em intervalos de tempo definidos pelo utilizador e apresentar resultados (valores de output) com frequências inferiores a uma hora (até 15 minutos como é o caso deste estudo).

A versão utilizada do software foi a 8.6.

### 6.2.1. Building

Este parâmetro descreve as condições exteriores do local onde o edifício está inserido durante o período de simulação.

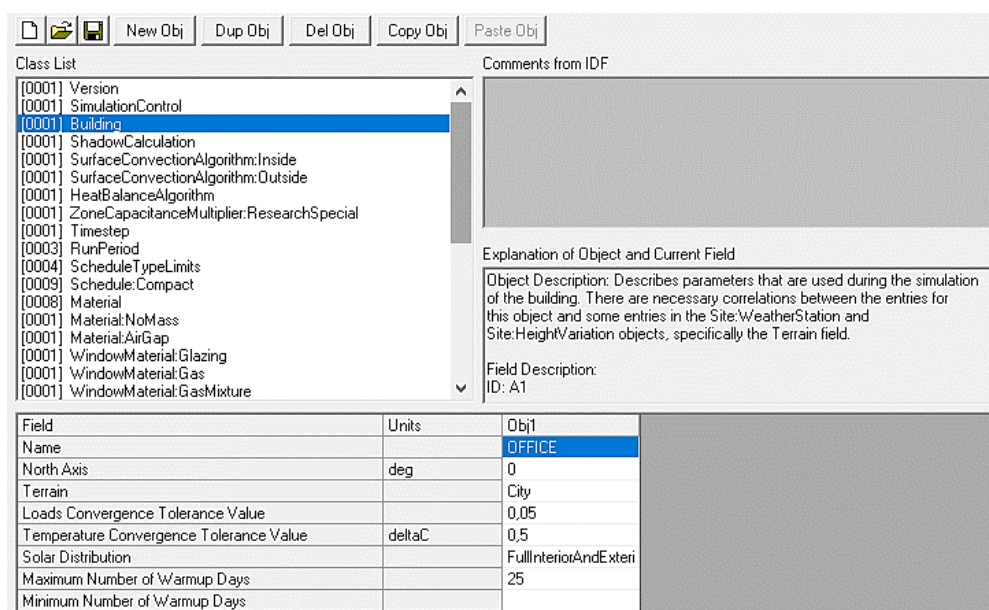
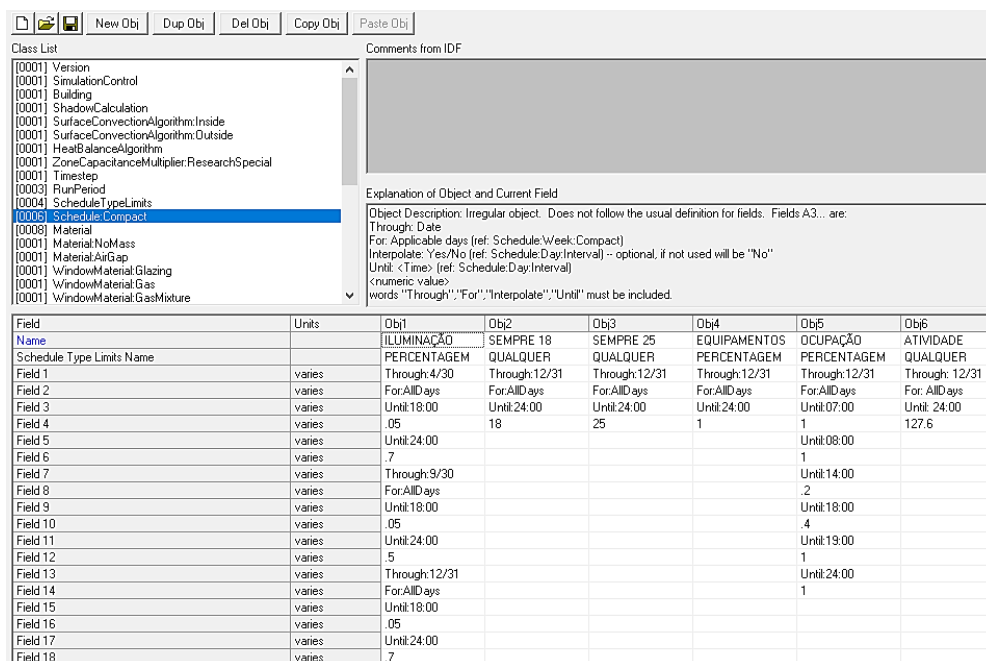


Figura 60 - Parâmetro *Building* - *EnergyPlus* software

### 6.2.2. Schedule

Foi estudado os horários para cada um dos parâmetros a estudar: iluminação, estação de aquecimento, estação de arrefecimento, ocupação, equipamentos e a atividade exercida no gabinete.



**Figura 61 - Parâmetro Schedule - EnergyPlus software**

- ✓ *Iluminação*: iluminação natural dentro do gabinete, em percentagem
- ✓ *Sempre 18*: corresponde à temperatura no interior para condições de conforto térmico durante o verão
- ✓ *Sempre 25*: corresponde à temperatura no interior para condições de conforto térmico durante o inverno
- ✓ *Equipamentos*: presença de equipamentos de escritório em funcionamento
- ✓ *Ocupação*: horário de trabalho dos utilizadores do escritório
- ✓ *Atividade*: metabolismo calculado associado à atividade de escritório (no caso do gabinete 5.05/5.06 está associado à soma do metabolismo de 2 homens e 1 mulher, enquanto que no gabinete 6.16 está associado ao metabolismo de 1 homem e 1 mulher)

### 6.2.3. Construction

Neste parâmetro introduzem-se as soluções construtivas para cada uma das envolventes: parede exterior, cobertura, laje, parede interior e envidraçado (que difere entre ambos os gabinetes estudados).

Class List

- [0001] ShadowCalculation
- [0001] SurfaceConvectionAlgorithm:Inside
- [0001] SurfaceConvectionAlgorithm:Outside
- [0001] HeatBalanceAlgorithm
- [0001] ZoneCapacitanceMultiplier:ResearchSpecial
- [0001] Timestep
- [0003] RunPeriod
- [0004] ScheduleTypeLimits
- [0006] Schedule:Compact
- [0008] Material
- [0001] Material:NoMass
- [0001] Material:AirGap
- [0001] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:Gas
- [0001] WindowMaterial:GasMixture
- [0002] MaterialProperty:GlazingSpectralData
- [0005] **Construction**
- [0001] GlobalGeometryRules

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Start with outside layer and work your way to the inside layer  
Up to 10 layers total, 8 for windows  
Enter the material name for each layer

Field Description:  
ID: A1  
Enter a alphanumeric value

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		EXTERIOR	COBERTURA	LAJE	INTERIOR	GlsSys_1
Outside Layer		PEDRA VIDRAÇO - REBOCO	BETÃO ARMADO	ESTUQUE		Glass_21470_Layer
Layer 2		CAIXA DE AR	BETÃO ARMADO	PARQUET REVES	TJOLO 7	Gap_1_W_0_4160
Layer 3		TJOLO 15	ESTUQUE		ESTUQUE	Glass_21470_Layer
Layer 4		CAIXA DE AR				Gap_9_W_0_0080
Layer 5		XPS 3				Glass_21470_Layer
Layer 6		TJOLO 11				
Layer 7		ESTUQUE				
Layer 8						
Layer 9						
Layer 10						

Figura 62 - Parâmetro *Construction* - *EnergyPlus* software, gabinete 5.05/5.06

Class List

- [0001] WindowMaterial:Glazing
- [0001] WindowMaterial:GasMixture
- [0001] MaterialProperty:GlazingSpectralData
- [0005] **Construction**
- [0001] GlobalGeometryRules
- [0001] Zone
- [0009] BuildingSurface:Detailed
- [0002] FenestrationSurface:Detailed
- [0001] WindowProperty:FrameAndDivider
- [0001] Shading:Overhang
- [0001] Shading:Fin
- [0001] People
- [0001] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Surfaces:Drawing
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] OutputControl:Table:Style

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: Start with outside layer and work your way to the inside layer  
Up to 10 layers total, 8 for windows  
Enter the material name for each layer

Field Description:  
ID: A1  
Enter a alphanumeric value

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		EXTERIOR	COBERTURA	LAJE	INTERIOR	GlsSys_1
Outside Layer		PEDRA VIDRAÇO - REBOCO	BETÃO ARMADO	ESTUQUE		Glass_21470_Layer
Layer 2		CAIXA DE AR	BETÃO ARMADO	PARQUET REVES	TJOLO 7	Gap_9_W_0_0080
Layer 3		TJOLO 15	ESTUQUE		ESTUQUE	Glass_21470_Layer
Layer 4		CAIXA DE AR				
Layer 5		XPS 3				
Layer 6		TJOLO 11				
Layer 7		ESTUQUE				
Layer 8						
Layer 9						
Layer 10						

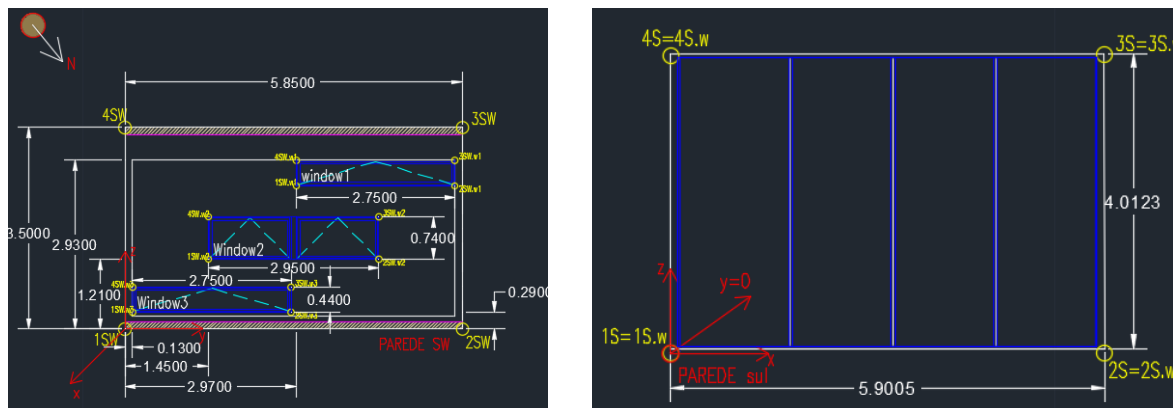
Figura 63 - Parâmetro *Construction* - *EnergyPlus* software, gabinete 6.16

#### 6.2.4. Window Material: Glazing

Para a definição do vidro, recorreu-se ao software *WINDOW7.4*. Este software tem a facilidade de ser possível extrair as características dos vidros numa extensão .idf, compatível com o *Energyplus*.

## 6.2.5. Building Surface

As regras para a construção geométrica seguem o sentido anti-horário, sendo que o primeiro ponto equivale ao vértice inferior esquerda da Figura 65, descrito no parâmetro <Global Geometry Rules>. Esta regra é igualmente aplicada aos vãos envidraçados.



**Figura 64** - Processo de orientação para modelação geométrica em *EnergyPlus software* (gabinete 5.05/5.06 à esquerda, gabinete 6.16 à direita)

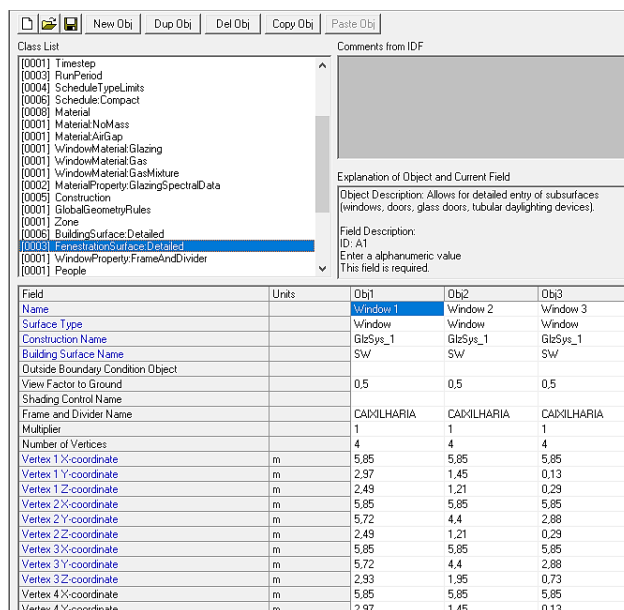
E é transposta para o software relativamente às envolturas opacas:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		W - a	W - b	S	N	E - a	E - b	Tecto - a	Tecto - b	Pavimento
Surface Type		Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Wall	Ceiling	Ceiling	Floor
Construction Name		EXTERIOR	EXTERIOR	EXTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR	INTERIOR
Zone Name		GABINETE 616	GABINETE 616	GABINETE 616	GABINETE 616	GABINETE 616	GABINETE 616	GABINETE 616	GABINETE 616	GABINETE 616
Outside Boundary Condition		Outdoors	Outdoors	Outdoors	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic	Adiabatic
Outside Boundary Condition Object										
Sun Exposure		SunExposed	SunExposed	SunExposed	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun	NoSun
Wind Exposure		WindExposed	WindExposed	WindExposed	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind	NoWind
View Factor to Ground		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Number of Vertices		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Vertex 1 X-coordinate	m	0	0	0	5,9	5,9	5,9	0	0	5,9
Vertex 1 Y-coordinate	m	2,99	2,33	0	2,975	0	2,33	2,33	2,975	2,975
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	3,435	0	0	0	0	4,085	3,435	0
Vertex 2 X-coordinate	m	0	0	5,9	0	5,9	5,9	0	0	5,9
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	0	0	2,975	2,33	2,975	0	2,33	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	3,435	0	0	0	0	4,085	3,435	0
Vertex 3 X-coordinate	m	0	0	5,9	0	5,9	5,9	5,9	5,9	0
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	0	0	2,975	2,33	2,975	0	2,33	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	3,435	4,085	4,085	3,435	4,085	3,435	4,085	3,435	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0	0	0	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	0
Vertex 4 Y-coordinate	m	2,99	2,33	0	2,975	0	2,33	2,33	2,975	2,975

**Figura 65** - Parâmetro *Building Surface* - *EnergyPlus software* (zonas opacas, gabinete 6.16)



Ou para as envoltantes envidraçadas:

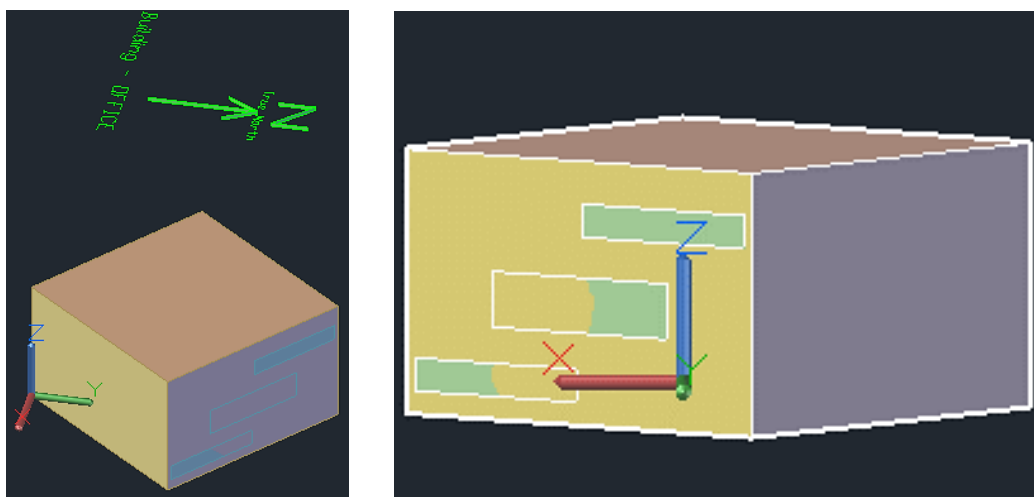


**Figura 66** - Parâmetro *Building Surface* - *EnergyPlus* software (zonas envidraçadas, gabinete 5.05/5.06)

### 6.2.6. Outputs: Surface: Drawing

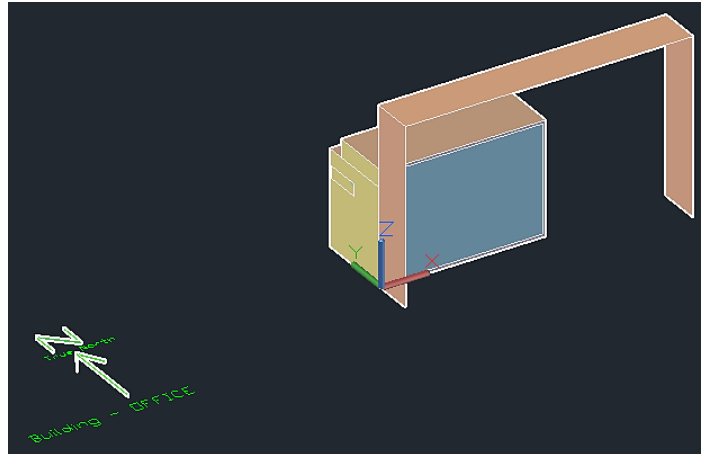
Este parâmetro foi ativo de modo a produzir o modelo 3D em AutoCAD e que poderá ser importado para outro programas de edição.

✓ Modelo 3D: Gabinete 5.05/5.06



**Figura 67** - Parâmetro *Output* - modelo 3D em AutoCAD, gabinete 5.05/5.06

✓ Modelo 3D: Gabinete 6.16



**Figura 68-** Parâmetro Output - modelo 3D em AutoCAD, gabinete 6.16

### 6.2.7. Output: Variable

Para concluir, falta apenas preencher o grupo referente aos resultados *Output: Variable*, onde são definidos quais os *outputs* pretendidos e a frequência de registo. O software do EnergyPlus permite uma vasta lista de variáveis possíveis, apresentada no documento *Input Output reference* [24]. No presente estudo foram recolhidas informações das seguintes variáveis, num intervalo de tempo de 15 minutos:

- ✓ *Site Outdoor Air Drybulb Temperature*: temperature ambiente exterior [°C]
- ✓ *Zone Mean Air Temperature*: temperature ambiente interior [°C]
- ✓ *Zone Ideal Loads Zone Total Heating Energy*: necessidades de aquecimento [W/m<sup>2</sup>]
- ✓ *Zone Ideal Loads Zone Total Cooling Energy*: necessidades de arrefecimento [W/m<sup>2</sup>]
- ✓ *Zone Air Relative Humidity*: humidade relativa do ambiente interior [%]
- ✓ *Surface Window Net Heat Transfer Energy*: transferência de fluxo de calor através do envidraçado [W/m<sup>2</sup>]

New Obj Dup Obj Del Obj Copy Obj Paste Obj

Class List

- [0001] WindowProperty:FrameAndDivider
- [0001] Shading:Overhang
- [0001] Shading:Fin
- [0001] People
- [0001] Lights
- [0001] ElectricEquipment
- [0001] ZoneControl:Humidistat
- [0001] ZoneControl:Thermostat
- [0001] ThermostatSetpoint:DualSetpoint
- [0001] ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem
- [0001] ZoneHVAC:EquipmentList
- [0001] ZoneHVAC:EquipmentConnections
- [0001] Output:VariableDictionary
- [0001] Output:Surfaces:Drawing
- [0001] Output:Table:SummaryReports
- [0001] OutputControl:Table:Style
- [0005] Output:Variable
- [0001] Output:Diagnostics

Comments from IDF

Explanation of Object and Current Field

Object Description: each Output:Variable command picks variables to be put onto the standard output file (.eso) some variables may not be reported for every simulation. a list of variables that can be reported are available after a run on the report dictionary file (.rdd) if the Output:VariableDictionary has been requested.

Field Description: use "" (without quotes) to apply this variable to all keys  
ID: A1

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Key Value		*	*	*	*	*
Variable Name		Site Outdoor Air Drybulb	Zone Mean Air Tem	Zone Ideal Loads Z	Zone Air Relative H	Zone Ideal Loads Z
Reporting Frequency		Timestep	Timestep	Timestep	Timestep	Timestep
Schedule Name						

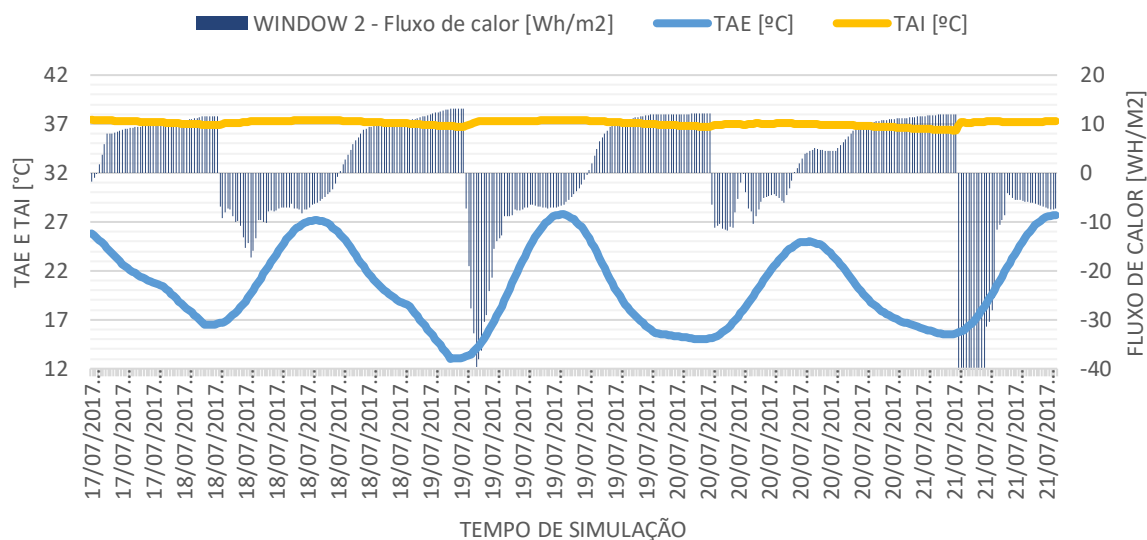
**Figura 69 -** Parâmetro *Output*

### 6.3. ANÁLISE DE RESULTADOS: GABINETE 5.05/5.06

Para a presente análise, foram escolhidos dados a partir do ficheiro climático do programa similares aos obtidos na sequência das campanhas experimentais em termos de temperaturas exterior.

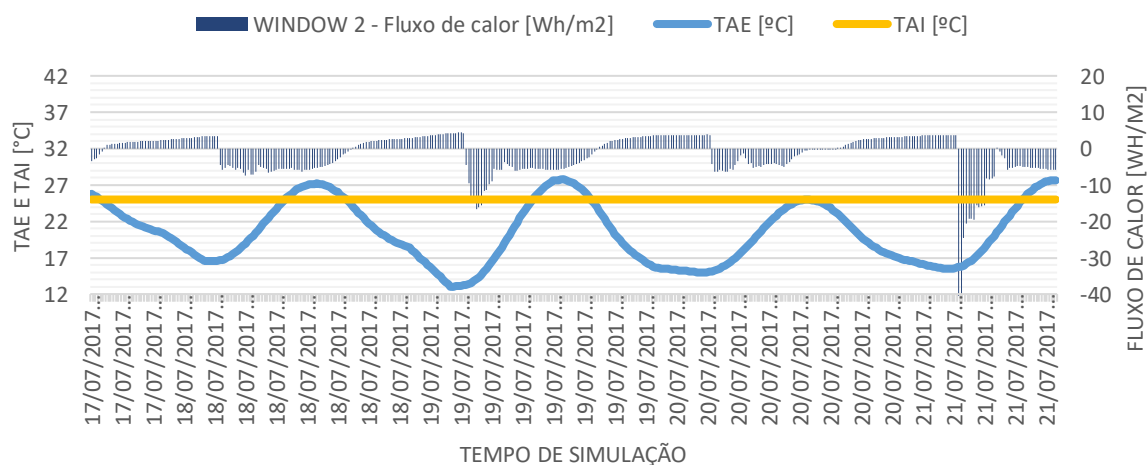
Para este gabinete foram simuladas duas situações com condições de ambiente interior diferentes:

- Sem funcionamento de AVAC [Figura 71]



**Figura 70** - Resultados *EnergyPlus*: fluxo de calor, TAE e TAI [sem AVAC, gabinete 5.05/5.06]

- E com o funcionamento do sistema AVAC, constante a 25°C [Figura 72]



**Figura 71** - Resultados *EnergyPlus*: fluxo de calor, TAE e TAI [com AVAC, gabinete 5.05/5.06]

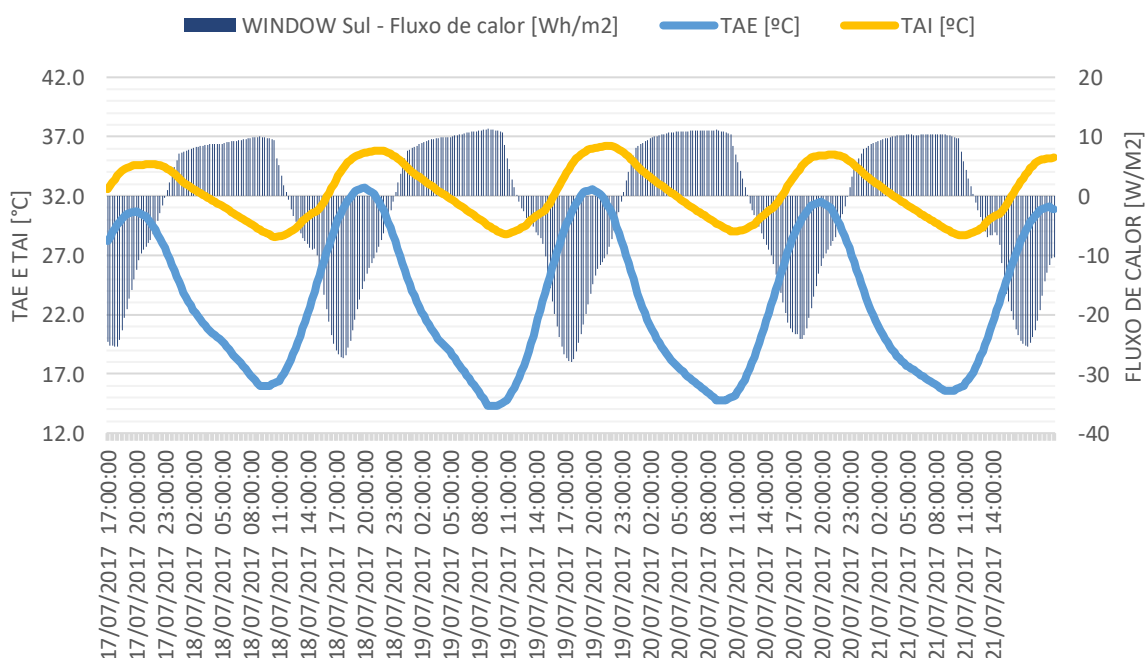
De facto, para a situação sem presença do AVAC, o valor máximo da TAI é de 37.4°C, em comparação com 25°C a que está sujeito a TAI nas condições em que o sistema de arrefecimento está ativo. Para as condições de conforto térmico estabelecidas como padrão de conforto, a TAI encontra-se 12.4°C acima do recomendado.

Por outro lado, o fluxo de calor que atravessa o envidraçado tem uma maior amplitude de valores para as trocas de calor relativamente à simulação com presença ativa de AVAC, comparativamente com a situação sem o sistema de climatização ativo. Este facto poderá ser justificado pelo papel que o sistema de climatização tem no controlo da temperatura dentro do interior. Ou seja, é possível atingir valores mais baixos de fluxo de calor quando o sistema AVAC está ligado e valores mais alto para os períodos em que o sistema AVAC se encontra desligado.

#### 6.4. ANÁLISE DE RESULTADOS: GABINETE 6.16

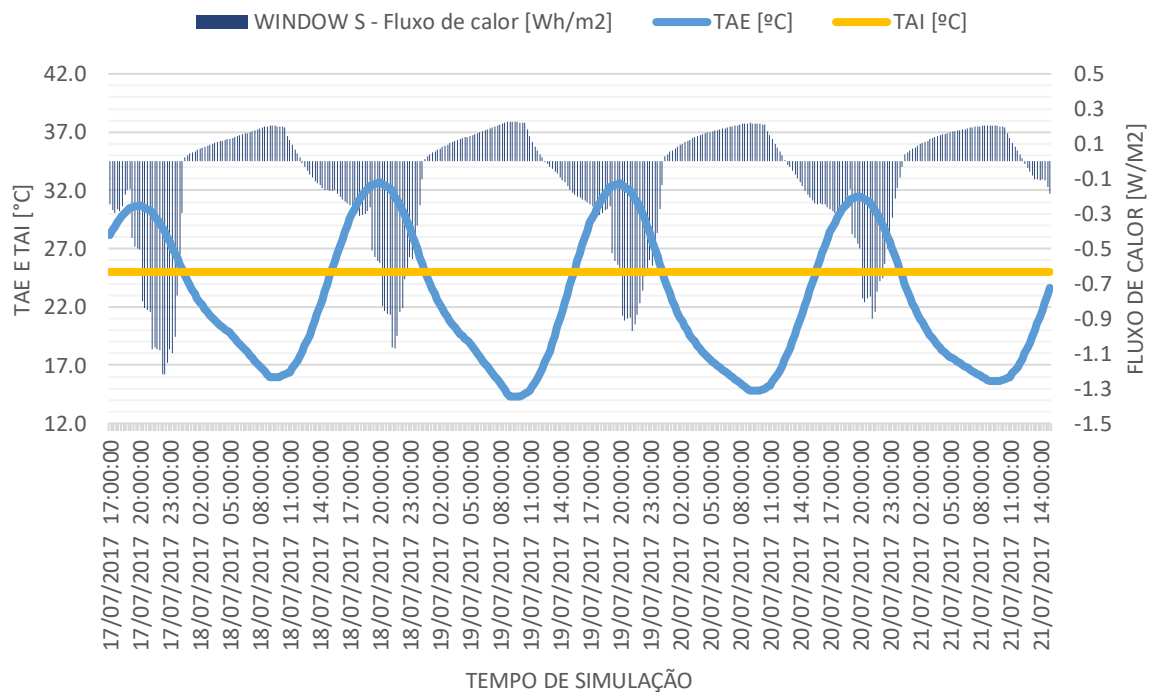
Para a presente análise, os dados recolhidos são referentes aos dias em que as temperaturas exteriores do ficheiro .idf são aproximadamente iguais às temperaturas exteriores medidas durante a monitorização do gabinete. À semelhança do ponto anterior, para este gabinete foram simuladas duas situações com condições de ambiente interior diferentes:

- Sem funcionamento de AVAC constante a 25°C



**Figura 72** - Resultados *EnergyPlus*: fluxo de calor, TAE e TAI [sem AVAC, gabinete 6.16]

- E com o funcionamento de AVAC, constante a 25°C.



**Figura 73** - Resultados *EnergyPlus*: fluxo de calor, TAE e TAI [com AVAC, gabinete 6.16]

De facto, para a situação sem presença de AVAC, o valor máximo da TAI é de 36.2°C, em comparação com 25°C a que está sujeito a TAI nas condições em que o sistema de arrefecimento está ativo.

Por outro lado, o fluxo de calor que atravessa o envidraçado tem uma maior amplitude de valores para as trocas de calor relativamente à simulação com presença ativa de AVAC.



## 7. CONCLUSÕES FINAIS

Todos os objetivos propostos para a presente dissertação foram cumpridos, tendo-se conseguido avaliar o comportamento térmico de ambas as fachadas assim como o conforto humano dos utilizadores do edifício.

Ambos os ensaios correram como esperado. Teria interesse avaliar também as condições de conforto térmico para o gabinete 5.05/5.06 numa situação em que o sistema AVAC estivesse inativo, mas esta avaliação não foi possível uma vez que o edifício tem permanência de pessoas em período laboral e com necessidades de arrefecimento durante esse período.

Ao fazer a análise global de ambos os gabinetes foi possível obter resultados concordantes e díspares, ambos influenciados pelas condições térmicas no interior, pela orientação solar da fachada, pela área e pelo tipo de vão envidraçado. No gabinete 5.05/5.06, com a fachada orientada aproximadamente a Oeste, analisou-se a influência da fachada dupla pele existente, assim como o fluxo de calor que a caixa de ar transmitiria para o interior do gabinete. Por outro lado, no gabinete 6.16, em que a fachada envidraçada se encontra orientada a Sul, analisou-se o fluxo de calor que atravessa o envidraçado, o aumento da temperatura interior devido a este fenómeno, e a ausência de sombreamento que possibilita estas trocas de calor com o exterior.

O facto de ter uma fachada totalmente envidraçada orientada a sul provou que as trocas de calor são muito superiores às do gabinete 5.05/5.06, considerando que o tipo de vidro é o mesmo para ambos os espaços de trabalho. Pode concluir-se também que o aumento da área de envidraçado potencia consideravelmente o desconforto térmico e aumenta a dependência de sistemas AVAC em funcionamento constante devido à permanência de indivíduos nas instalações durante os horários de trabalho.

Durante o trabalho realizado neste estudo, notou-se um desconforto relativamente à humidade relativa presente no interior, tendo-se obtido em certas situações valores inferiores ao recomendado pelo ASHRAE 160. Aquando da realização dos questionários e análise preliminar deste trabalho, anotou-se, empiricamente, contestação dos ocupantes relativamente a este parâmetro, o que se veio a justificar com recurso aos ensaios in situ. O uso em excesso do sistema de AVAC foi um dos fatores negativos apontados pelos intervenientes dos questionários, assim como a falta de controlo sobre a ventilação que é atualmente inexistente.

Em futuros trabalhos, seria interessante avaliar as condições de conforto térmica durante a estação de aquecimento, uma vez que as manifestações de desconforto se mantêm por parte dos ocupantes dos espaços de trabalho. Teria uma interessante análise avaliar a influência de dispositivos de sombreamento, principalmente, na fachada orientada a sul localizada no piso 6 do edifício.

Como proposta de melhoria, seria interessante a implementação de um sistema passivo de ventilação natural, com aberturas para o exterior através do envidraçado exterior que constitui a fachada oeste. Esta solução permitiria reduzir as temperaturas que se concentram na caixa de ar característica da fachada de dupla pele e, ao mesmo tempo, possibilitaria a diminuição do uso dos sistemas AVAC, reduzindo a fatura energética do edifício.



## BIBLIOGRAFIA

- [1] Cynthia Marconsini L. Santos, Leopoldo Eurico G. Bastos, *Influência dos Elementos de Fachada no Desempenho da Iluminação Natural em Edifícios de Escritórios de Planta Livre*, ETAC 2008.
- [2] MENDONÇA, P. J., *Habitar sob uma segunda pele: Estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados*, Guimarães, Departamento de Engenharia Civil-Universidade do Minho, 2005
- [3] PIRES L., SILVA P. D., CASTRO GOMES J. P., *A importância do consumo energético dos edifícios na Europa: soluções propostas para a sua redução*, Covilhã, Departamento de Engenharia Eletromecânica e Departamento de Engenharia Civil – Universidade da Beira Interior, 2005.
- [4] Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) - <<http://www.dgeg.gov.pt/>>, 2017.
- [5] Comissão Europeia (CE); Directorate-General for Energy (DGE) - *Eficiência Energética em Edifícios*, <<http://ec.europa.eu/energy/efficiency/buildings/>>, 2011.
- [6] AELENEI L., AELENEI D., LOLLINI R. GONÇALVES H., DONN M. and GARDE F. (2013), Design Issues in Net Zero-Energy Houses, Open House International, 38(3):7-14. EID: 2-s2.0-84884539865
- [7] AELENEI, L., GONÇALVES, H., A., AELENEI, D. (2013), The nZEBs in the near Future - Overview of definitions and guidelines towards existing plans for increasing nZEBs, Portugal SB13 - Contribution of sustainable building to meet EU 20-20-20 targets, Guimarães, Portugal, 30 Oct - 1 Nov. ISBN 978-989-96543-7-2
- [8] AELENEI, D., AELENEI, L., MUSALL, E., CUBI, E., AYOUB, J., BELLERI A. (2013), Design strategies for non-residential zero - energy buildings - Lessons learned from Task 40/Annex 52 “Towards Net Zero - Energy Solar Buildings”, CLIMA 2013, Prague, Czech Republic, June 16-19. ISBN: 978-80-260-4001-9
- [9] ASHRAE Standard 55, 2013, “Thermal environmental conditions for human occupancy”, ASHRAE Inc., 1992, Atlanta.

- [10] HENRIQUES, F. M. A., “Comportamento higrotérmico de edifícios”, Lisboa, FCT-UNL, 2011.
- [11] ASHRAE Standard 160, 2016, “Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings”, ASHRAE Inc., 1992, Atlanta.
- [12] AELENEI, D. (2016), REH Light, Manual de apoio à aplicação da regulamentação referente ao comportamento térmico de edifícios de habitação, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- [13] PINA dos SANTOS C. A., MATIAS L., ITE 50, “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios v.2006”, LNEC, Lisboa, 2006.
- [14] IPMA - <<https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>>
- [15] Google Earth - <<https://www.google.com/intl/pt-PT/earth/>>
- [16] ATZERIA A. M., CAPPELLETTI F., TZEMPELIKOS A., GASPERELLA A., *Comfort metrics for an integrated evaluation of buildings performance*, Energy and Buildings 127, 411-424, 2016.
- [17] GARDE, François, AYOUB, Joseph, AELENEI, Laura, AELENEI, Daniel, SCOGNAMIGLIO, Alessandra, *Solution Sets for Net Zero Energy Buildings: Feedback from 30 Buildings Worldwide*, Wiley, 2017.
- [18] BS EN 15251:2007 – “Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics”, BSI, British Standards, 2007
- [19] *User Manual for DL2e Data Logger Hardware Reference*. Delta-T Devices Ltd, 2000.
- [20] *User Manual for DL2e Data Logger Getting Started*. Delta-T Devices Ltd, 2001.
- [21] “User Manual HFP01 & HFP03 Heat flux plate / heat flux sensor”. Hukseflux Thermal Sensors, 2016.
- [22] Termopares, <[http://www.termopares.com.br/termopares\\_efeito\\_seebeck/index.asp](http://www.termopares.com.br/termopares_efeito_seebeck/index.asp)>

[23] CRAWLEY D., WICKELMANN F., LAWRIE L., PEDERSEN C., *EnergyPlus: a new-generation building energy simulation program*, FORUM-PROCEEDINGS - AMERICAN SOLAR ENERGY SOC & THE AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. 2001, 575–580.

[24] Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory. Input Output Reference, US Department of Energy, EUA, 2009.

## **ANEXO 1**

### **Modelo do Questionário realizado na Reitoria da UNL**

## Bem-vindo ao questionário sobre conforto térmico no interior do espaço de trabalho

O presente questionário visa avaliar o nível de conforto interior do edifício da reitoria da UNL.

Os dados fornecidos serão avaliados e estudados de forma confidencial com base em formulação e conhecimento científico para fundamento de uma dissertação a realizar no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL.

### Termos e Responsabilidade

Antes de iniciar o preenchimento do questionário, leia atentamente as seguintes informações.

A minha participação neste questionário é voluntária, tendo consciência que não sou obrigado(a) a responder às perguntas que constituem este questionário. Posso solicitar que os meus dados sejam retirados do presente estudo.

Compreendo que todas as informações serão tratadas com a maior confidencialidade e que o meu anonimato será respeitado.

[Concordo com os termos acima indicados e gostaria de fazer parte deste estudo.](#)

☐ Sim

☐ Não

### 1. Descrição do Espaço de Trabalho

Piso: \_\_\_\_\_

Nº Gabinete: \_\_\_\_\_

Data do Questionário: \_\_\_\_/\_\_\_\_\_/20\_\_\_\_

### 2. Descrição Pessoal

#### 2.1. Sexo

☐ Feminino

☐ Masculino

## 2.2. Idade

☐ <20   ☐ 21 - 40   ☐ 41 - 60   ☐ 61 - 80   ☐ > 80

## 2.3. Há quanto tempo trabalha neste espaço? [anos]

☐ 0 - 1   ☐ 1 - 2   ☐ 2 - 3   ☐ 3 - 4   ☐ > 4

## 2.4. Quanto tempo, por dia, passa dentro do espaço? [horas]

☐ 1 - 2   ☐ 2 - 3   ☐ 3 - 4   ☐ 4 - 5   ☐ > 5

# 3. Opinião Geral sobre o Edifício

## 3.1. Como classifica a presença de ventilação natural e a qualidade do ar interior do espaço de trabalho?

[numa escala de: 1- muito pouco adequada a 5-muito adequada]

☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☐ 4   ☐ 5

## 3.2. Como classifica a presença de iluminação natural no interior do espaço de trabalho?

[numa escala de: 1- muito pouco adequada a 5-muito adequada]

☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☐ 4   ☐ 5

## 3.3. Como classifica o nível de ruído sentido no interior do espaço de trabalho?

[numa escala de: 1- muito desconfortável a 5-muito confortável]

☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☐ 4   ☐ 5

## 3.4. Qual o nível de controlo que exerce sobre os seguintes aspetos no interior do espaço de trabalho?

[numa escala de: 1- sem controlo a 5- total controlo]

	1	2	3	4	5
Aquecimento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Arrefecimento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ventilação	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Luz Natural	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Luz Artificial	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ruido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 3.5. Como classifica a estado geral do edifício?

[numa escala de: 1- muito mau estado a 5-muito bom estado]

☐ 1   ☐ 2   ☐ 3   ☐ 4   ☐ 5

## 3.6. Como classifica as vistas desde o interior do espaço de trabalho para o exterior?

[numa escala de: 1- muito desagradáveis a 5-muito agradáveis]

☐ 1      ☐ 2      ☐ 3      ☐ 4      ☐ 5

#### 4. Avaliação Pessoal do Nível de Conforto

4.1. Dentro do espaço, qual o seu local de trabalho?

☐ Junto à janela      ☐ A meio do espaço      ☐ Longe da janela

Para as questões que se seguem, considere a seguinte escala de avaliação:

Muito Frio	-3
Frio	-2
Ligeiramente Frio	-1
Confortável	0
Ligeiramente Quente	1
Quente	2
Muito Quente	3

4.2. Neste momento, como classifica o nível de conforto térmico a que está sujeito?

☐ -3      ☐ -2      ☐ -1      ☐ 0      ☐ 1      ☐ 2      ☐ 3

4.3. No verão, como classifica o nível de conforto térmico a que está sujeito?

☐ -3      ☐ -2      ☐ -1      ☐ 0      ☐ 1      ☐ 2      ☐ 3

4.4. No inverno, como classifica o nível de conforto térmico a que está sujeito?

☐ -3      ☐ -2      ☐ -1      ☐ 0      ☐ 1      ☐ 2      ☐ 3

#### 5. Comentários Adicionais

Caso pretenda adicionar qualquer comentário que considere relevante ao presente questionário, por favor, anote-o no seguinte espaço disponível para tal.

Caso este comentário seja relativo a qualquer pergunta anterior, por favor, indique no final o número da pergunta a que se refere.

Caso pretenda receber os resultados deste estudo, indique o seu correio eletrónico no espaço disponível

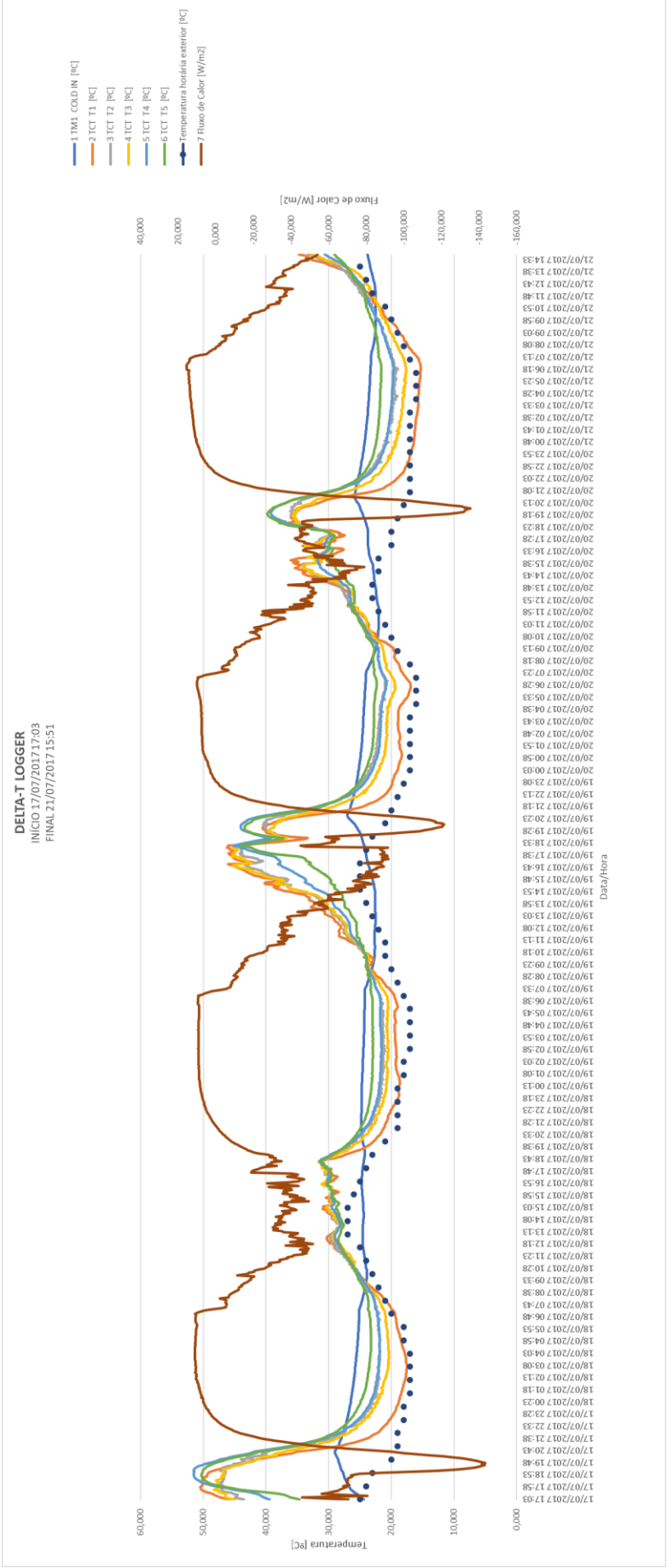
e-mail: \_\_\_\_\_

Muito Obrigado pela sua participação neste estudo.



## **ANEXO 2**

**Fluxo de Calor e Temperaturas Superficiais – Monitorização *Logger Delta T* [Gabinete  
5.05/5.06]**



## **ANEXO 3**

**Cálculo das Temperaturas Superficiais e Resistências Térmicas Superficiais [Gabinete  
5.05/5.06]**

#	Data/Hora	T1 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	Fluxo de Calor [W/m²]	TAE [°C]	TAI [°C]	Rar [m²°C/W]	R vidro int [m²°C/W]	R vidro ext [m²°C/W]	θ se VE [°C]	Rsi [m²°C/W]	Rse [m²°C/W]
18/07/2017	18/07/2017 02:53	17,5	22,1	23,6	10,687	17,0	25,7	0,42			17,4	0,20	0,04
	18/07/2017 03:08	17,5	21,9	23,5	10,670	17,0	25,7	0,42			17,4	0,21	0,04
	18/07/2017 03:23	17,6	21,9	23,5	10,754	17,0	25,7	0,40			17,5	0,21	0,05
	18/07/2017 03:38	17,7	21,8	23,4	10,955	17,0	25,7	0,38			17,6	0,22	0,05
	18/07/2017 03:53	17,7	21,8	23,3	11,005	17,0	25,7	0,37			17,6	0,22	0,06
	18/07/2017 04:08	17,9	21,8	23,3	10,988	17,0	25,7	0,36			17,8	0,22	0,07
	18/07/2017 04:23	18,0	21,8	23,3	11,072	17,0	25,7	0,34	0,15	0,01	18,0	0,22	0,09
	18/07/2017 04:38	18,2	21,8	23,2	10,905	17,0	25,7	0,33			18,2	0,23	0,11
	18/07/2017 04:53	18,4	21,8	23,2	10,972	17,0	25,7	0,31			18,3	0,22	0,12
	18/07/2017 05:08	18,5	21,8	23,2	10,687	17,0	25,7	0,31			18,4	0,23	0,13
	18/07/2017 05:23	18,6	21,8	23,2	10,687	17,0	25,7	0,30			18,5	0,23	0,14
	18/07/2017 05:38	18,8	21,9	23,3	10,570	17,0	25,6	0,30			18,7	0,22	0,16
	18/07/2017 05:53	19,0	22,0	23,3	10,419	17,0	25,6	0,29			18,9	0,23	0,18
Valor Médio		18,1	21,9	23,3	10,8	17,0	25,7	0,35	0,15	0,01	18,0	0,22	0,09

#	Data/Hora	T1 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	Fluxo de Calor [W/m²]	TAE [°C]	TAI [°C]	Rar [m²°C/W]	R vidro int [m²°C/W]	R vidro ext [m²°C/W]	θ se VE [°C]	Rsi [m²°C/W]	Rse [m²°C/W]
19/07/2017	19/07/2017 02:53	19,2	21,5	22,9	9,263	18,0	24,9	0,25			19,1	0,22	0,12
	19/07/2017 03:08	19,2	21,6	22,9	9,263	17,0	24,9	0,25			19,2	0,22	0,23
	19/07/2017 03:23	19,3	21,6	22,9	9,280	17,0	24,9	0,25			19,2	0,22	0,24
	19/07/2017 03:38	19,3	21,6	23,0	9,213	17,0	24,9	0,25			19,3	0,21	0,25
	19/07/2017 03:53	19,3	21,6	22,9	9,213	17,0	24,9	0,24			19,3	0,22	0,25
	19/07/2017 04:08	19,4	21,6	22,9	9,112	17,0	24,9	0,24			19,3	0,22	0,25
	19/07/2017 04:23	19,4	21,7	22,9	9,112	17,0	24,9	0,24	0,15	0,01	19,4	0,22	0,26
	19/07/2017 04:38	19,5	21,7	22,9	9,129	17,0	24,9	0,24			19,4	0,22	0,26
	19/07/2017 04:53	19,4	21,7	23,0	9,146	17,0	24,9	0,25			19,3	0,21	0,26
	19/07/2017 05:08	19,3	21,7	23,0	9,045	17,0	24,9	0,27			19,2	0,22	0,25
	19/07/2017 05:23	19,4	21,8	23,0	8,995	17,0	25,0	0,26			19,3	0,22	0,26
	19/07/2017 05:38	19,5	21,7	23,0	8,978	17,0	25,0	0,25			19,4	0,22	0,27
	19/07/2017 05:53	19,4	21,7	23,0	8,961	17,0	24,9	0,26			19,3	0,22	0,26
Valor Médio		19,4	21,7	23,0	9,1	17,1	24,9	0,25	0,15	0,01	19,3	0,22	0,24

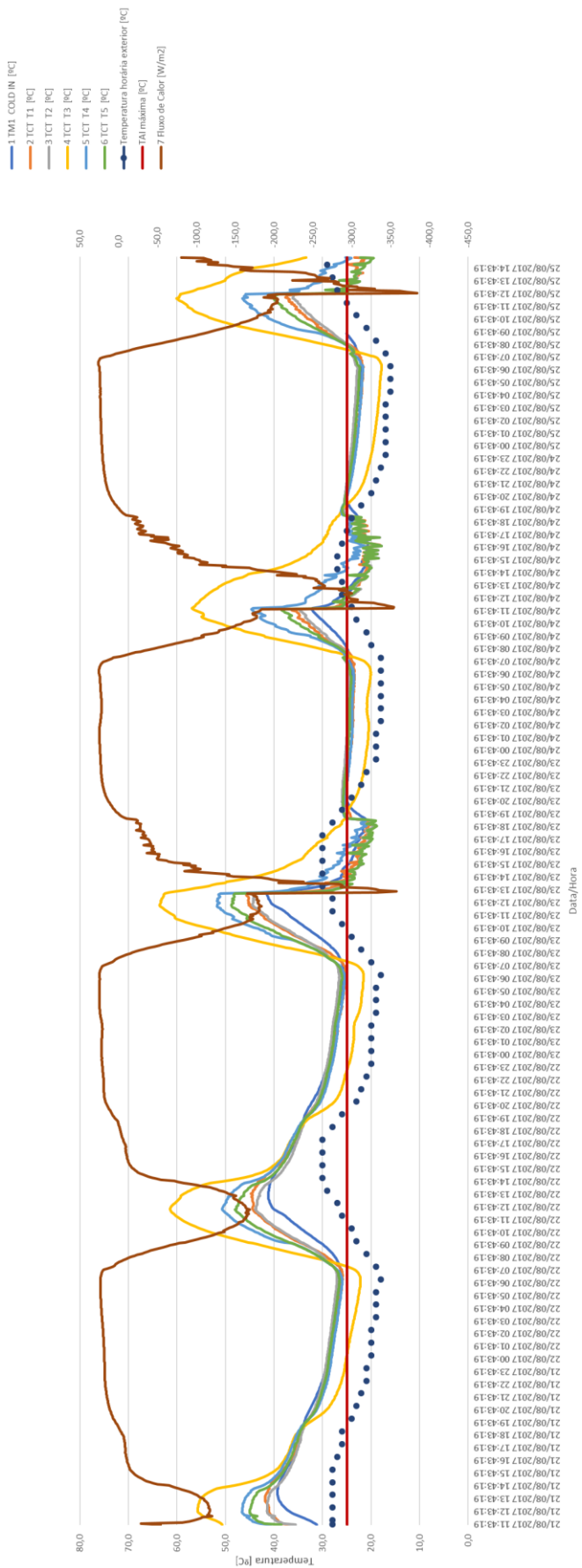
#	Data/Hora	T1 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	Fluxo de Calor [W/m2]	TAE [°C]	TAI [°C]	Rar [m2°C/W]	R vidro int [m2°C/W]	R vidro ext [m2°C/W]	θ se VE [°C]	Rsi [m2°C/W]	Rse [m2°C/W]
20/07/2017	20/07/2017 02:53	18,7	21,7	22,9	7,437	17,0	24,5	0,40			18,7	0,22	0,23
	20/07/2017 03:08	18,9	21,7	22,8	7,504	17,0	24,5	0,37			18,8	0,22	0,25
	20/07/2017 03:23	18,9	21,7	22,8	7,454	17,0	24,5	0,37			18,9	0,23	0,25
	20/07/2017 03:38	18,9	21,7	22,8	7,521	17,0	24,5	0,37			18,8	0,22	0,24
	20/07/2017 03:53	18,8	21,7	22,8	7,521	17,0	24,5	0,38			18,8	0,22	0,24
	20/07/2017 04:08	18,9	21,7	22,8	7,672	17,0	24,5	0,36			18,8	0,22	0,24
	20/07/2017 04:23	18,9	21,6	22,8	7,638	17,0	24,5	0,36	0,15	0,01	18,8	0,22	0,24
	20/07/2017 04:38	18,8	21,6	22,8	7,789	17,0	24,5	0,36			18,7	0,22	0,22
	20/07/2017 04:53	18,6	21,5	22,7	7,839	17,0	24,5	0,37			18,6	0,23	0,20
	20/07/2017 05:08	18,2	21,5	22,7	8,007	16,0	24,5	0,42			18,1	0,22	0,26
	20/07/2017 05:23	17,8	21,4	22,7	8,375	16,0	24,5	0,43			17,7	0,22	0,20
	20/07/2017 05:38	17,4	21,2	22,6	8,576	16,0	24,5	0,44			17,4	0,22	0,16
	20/07/2017 05:53	17,2	21,1	22,5	9,079	16,0	24,5	0,43			17,1	0,22	0,12
	Valor Médio	18,5	21,5	22,7	7,9	16,7	24,5	0,4	0,15	0,01	18,4	0,22	0,22

#	Data/Hora	T1 [°C]	T4 [°C]	T5 [°C]	Fluxo de Calor [W/m2]	TAE [°C]	TAI [°C]	Rar [m2°C/W]	R vidro int [m2°C/W]	R vidro ext [m2°C/W]	θ se VE [°C]	Rsi [m2°C/W]	Rse [m2°C/W]
21/07/2017	21/07/2017 02:53	15,9	20,2	21,9	12,446	15,0	24,0	0,34			15,8	0,17	0,06
	21/07/2017 03:08	15,8	20,1	21,9	12,513	15,0	24,0	0,34			15,7	0,16	0,06
	21/07/2017 03:23	15,8	20,0	21,8	12,864	15,0	24,0	0,33			15,6	0,16	0,05
	21/07/2017 03:38	15,7	20,0	21,8	13,082	15,0	24,0	0,33			15,6	0,17	0,04
	21/07/2017 03:53	15,8	20,0	21,8	13,199	15,0	24,0	0,32			15,6	0,16	0,05
	21/07/2017 04:08	15,8	19,9	21,8	13,417	15,0	24,0	0,31			15,7	0,16	0,05
	21/07/2017 04:23	15,7	19,9	21,7	13,668	15,0	24,0	0,31	0,15	0,01	15,6	0,16	0,04
	21/07/2017 04:38	15,6	19,8	21,7	13,585	15,0	24,0	0,31			15,5	0,17	0,03
	21/07/2017 04:53	15,6	19,8	21,7	13,853	15,0	24,0	0,30			15,4	0,16	0,03
	21/07/2017 05:08	15,5	19,7	21,6	13,903	15,0	24,0	0,30			15,4	0,17	0,03
	21/07/2017 05:23	15,5	19,7	21,6	14,137	15,0	24,0	0,30			15,4	0,17	0,03
	21/07/2017 05:38	15,4	19,7	21,6	14,372	15,0	24,0	0,30			15,3	0,16	0,02
	21/07/2017 05:53	15,4	19,7	21,7	14,372	15,0	24,0	0,30			15,3	0,16	0,02
	Valor Médio	15,6	19,9	21,7	13,5	15,0	24,0	0,32	0,15	0,01	15,5	0,16	0,04

## **ANEXO 4**

**Fluxo de Calor e Temperaturas Superficiais – Monitorização *Logger Delta T* [Gabinete  
6.16]**

DELTA-T LOGGER  
INICIO 21/08/2017 12:00  
FINAL 25/08/2017 15:00



## **ANEXO 5**

### **Cálculo das Temperaturas Superficiais e Resistências Térmicas Superficiais [Gabinete 6.16]**



#	Data/Hora	T3	Fluxo de Calor	TAE	TAI	T2	T4	R vidro	θ se	Rsi	Rse
		[°C]	[W/m2]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[m2°C/W]	[°C]	[m2°C/W]	[m2°C/W]
21/08/2017 – 22/08/2017	21/08/2017 22:18:19	26,8	16,499	22,0	31,5	30,4	29,6		24,3	0,17	0,14
	21/08/2017 22:33:19	26,5	17,052	22,0	31,4	30,2	29,4		23,9	0,17	0,11
	21/08/2017 23:03:19	26,0	17,705	21,0	31,1	29,9	29,0		23,3	0,17	0,13
	21/08/2017 23:18:19	25,9	17,940	21,0	31,0	29,8	28,9		23,2	0,17	0,12
	21/08/2017 23:33:19	25,7	18,174	21,0	30,9	29,6	28,7		22,9	0,17	0,10
	22/08/2017 00:03:19	25,4	18,325	21,0	30,7	29,3	28,5		22,6	0,17	0,09
	22/08/2017 00:18:19	25,3	18,358	21,0	30,6	29,3	28,4		22,5	0,17	0,08
	22/08/2017 00:33:19	25,2	18,492	21,0	30,5	29,2	28,3		22,4	0,16	0,08
	22/08/2017 01:03:19	25,0	18,693	20,0	30,3	29,0	28,1		22,1	0,17	0,11
	22/08/2017 01:18:19	24,9	18,811	20,0	30,2	28,9	28,0		22,0	0,16	0,11
	22/08/2017 01:33:19	24,8	18,928	20,0	30,1	28,8	27,9		21,9	0,16	0,10
	22/08/2017 02:03:19	24,5	19,414	20,0	30,0	28,6	27,7		21,6	0,16	0,08
	22/08/2017 02:18:19	24,4	19,598	20,0	29,9	28,6	27,6		21,4	0,16	0,07
	22/08/2017 02:33:19	24,3	19,849	20,0	29,8	28,5	27,5	0,152	21,3	0,16	0,06
	22/08/2017 03:03:19	24,0	20,352	20,0	29,7	28,2	27,3		20,9	0,16	0,04
	22/08/2017 03:18:19	23,9	20,653	20,0	29,6	28,2	27,2		20,7	0,16	0,04
	22/08/2017 03:33:19	23,7	20,972	20,0	29,5	28,1	27,1		20,5	0,16	0,02
	22/08/2017 04:03:19	23,4	21,709	19,0	29,4	27,9	26,9		20,1	0,16	0,05
	22/08/2017 04:18:19	23,3	22,027	19,0	29,3	27,8	26,8		19,9	0,16	0,04
	22/08/2017 04:33:19	23,1	22,312	19,0	29,2	27,7	26,7		19,7	0,16	0,03
	22/08/2017 05:03:19	22,9	22,730	18,0	29,1	27,6	26,5		19,4	0,16	0,06
	22/08/2017 05:18:19	22,8	22,998	18,0	29,0	27,5	26,4		19,3	0,16	0,06
	22/08/2017 05:33:19	22,7	23,199	18,0	28,9	27,4	26,3		19,1	0,16	0,05
	22/08/2017 06:03:19	22,5	23,484	18,0	28,8	27,3	26,2		18,9	0,16	0,04
	22/08/2017 06:18:19	22,3	23,534	18,0	28,7	27,2	26,0		18,8	0,16	0,03
	22/08/2017 06:33:19	22,3	23,702	18,0	28,6	27,1	26,0		18,7	0,16	0,03
	22/08/2017 07:03:19	22,2	23,551	18,0	28,5	27,0	25,9		18,6	0,16	0,02
	22/08/2017 07:18:19	22,3	22,948	18,0	28,5	27,1	26,1		18,8	0,17	0,04
	<b>Valor Médio</b>	<b>24,1</b>	<b>20,429</b>	<b>19,7</b>	<b>29,8</b>	<b>30,4</b>	<b>29,6</b>	<b>0,15</b>	<b>21,0</b>	<b>0,16</b>	<b>0,07</b>

#	Data/Hora	T3	Fluxo de Calor	TAE	TAI	T2	T4	R vidro	θ se	Rsi	Rse
		[°C]	[W/m2]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[m2°C/W]	[°C]	[m2°C/W]	[m2°C/W]
22/08/2017 – 23/08/2017	22/08/2017 22:18:19	25,9	19,430	22,0	31,5	30,0	29,2	0,15	22,9	0,17	0,05
	22/08/2017 22:33:19	25,7	19,682	22,0	31,4	29,9	29,0		22,7	0,16	0,04
	22/08/2017 23:03:19	25,4	19,916	21,0	31,1	29,6	28,6		22,4	0,16	0,07
	22/08/2017 23:18:19	25,2	20,369	21,0	31,0	29,5	28,5		22,1	0,16	0,05
	22/08/2017 23:33:19	24,9	20,804	21,0	30,9	29,3	28,3		21,8	0,16	0,04
	23/08/2017 00:03:19	24,5	21,491	20,0	30,6	29,0	28,0		21,3	0,16	0,06
	23/08/2017 00:18:19	24,3	21,876	20,0	30,5	28,9	27,8		21,0	0,16	0,05
	23/08/2017 00:33:19	24,2	22,060	20,0	30,4	28,7	27,7		20,8	0,16	0,04
	23/08/2017 01:03:19	23,9	22,060	20,0	30,2	28,5	27,4		20,5	0,16	0,02
	23/08/2017 01:18:19	23,8	22,077	20,0	30,1	28,4	27,3		20,4	0,16	0,02
	23/08/2017 01:33:19	23,7	22,060	20,0	30,0	28,3	27,2		20,4	0,16	0,02
	23/08/2017 02:03:19	23,6	21,926	20,0	29,8	28,1	27,1		20,2	0,16	0,01
	23/08/2017 02:18:19	23,5	21,625	20,0	29,8	28,1	27,0		20,2	0,16	0,01
	23/08/2017 02:33:19	23,5	21,307	20,0	29,7	28,0	27,0		20,3	0,16	0,01
	23/08/2017 03:03:19	23,5	21,307	20,0	29,6	27,9	26,9		20,2	0,16	0,01
	23/08/2017 03:18:19	23,4	21,876	19,0	29,5	27,8	26,8		20,0	0,16	0,05
	23/08/2017 03:33:19	23,1	22,714	19,0	29,4	27,7	26,6		19,6	0,16	0,03
	23/08/2017 04:03:19	22,6	23,987	18,0	29,2	27,4	26,3		18,9	0,16	0,04
	23/08/2017 04:18:19	22,4	24,472	18,0	29,1	27,3	26,2		18,6	0,16	0,03
	23/08/2017 04:33:19	22,2	24,791	18,0	29,0	27,2	26,1		18,4	0,16	0,02
	23/08/2017 05:03:19	22,0	24,757	18,0	28,8	27,1	25,9		18,3	0,16	0,01
	23/08/2017 05:18:19	21,9	24,874	17,0	28,8	27,0	25,8		18,2	0,16	0,05
	23/08/2017 05:33:19	21,8	24,908	17,0	28,7	26,9	25,7		18,1	0,16	0,04
	23/08/2017 06:03:19	21,7	24,690	17,0	28,5	26,7	25,6		17,9	0,16	0,04
	23/08/2017 06:18:19	21,6	24,673	17,0	28,5	26,7	25,5		17,9	0,16	0,04
	23/08/2017 06:33:19	21,6	24,657	17,0	28,4	26,6	25,5		17,8	0,16	0,03
	23/08/2017 07:03:19	21,5	24,891	17,0	28,2	26,6	25,5		17,8	0,16	0,03
	23/08/2017 07:18:19	21,7	24,405	17,0	28,2	26,7	25,7		18,0	0,16	0,04
	<b>Valor Médio</b>	<b>23,3</b>	<b>22,632</b>	<b>19,1</b>	<b>29,7</b>	<b>30,0</b>	<b>29,2</b>	<b>0,15</b>	<b>19,9</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>

#	Data/Hora	T3	Fluxo de Calor	TA E	TAI	T2	T4	R vidro	θ se	Rsi	Rse
		[°C]	[W/m2]	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	[m2°C/W]	[°C]	[m2°C/W]	[m2°C/W]
DIA 3	23/08/2017 22:18:19	22,0	21,591	17,0	27,5	25,8	24,9		18,7	0,14	0,08
	23/08/2017 22:33:19	21,8	21,993	17,0	27,4	25,8	24,9		18,5	0,14	0,07
	23/08/2017 23:03:19	21,5	22,630	17,0	27,3	25,7	24,8		18,1	0,14	0,05
	23/08/2017 23:18:19	21,4	22,915	17,0	27,3	25,6	24,6		18,0	0,14	0,04
	23/08/2017 23:33:19	21,4	23,149	17,0	27,2	25,5	24,6		17,8	0,14	0,04
	24/08/2017 00:03:19	21,2	23,534	16,0	27,1	25,4	24,5		17,6	0,14	0,07
	24/08/2017 00:18:19	21,1	23,819	16,0	27,1	25,3	24,4		17,4	0,14	0,06
	24/08/2017 00:33:19	21,0	23,953	16,0	27,0	25,3	24,3		17,3	0,14	0,05
	24/08/2017 01:03:19	20,8	24,422	16,0	26,9	25,2	24,3		17,1	0,14	0,04
	24/08/2017 01:18:19	20,7	24,606	16,0	26,9	25,1	24,1		16,9	0,14	0,04
	24/08/2017 01:33:19	20,7	24,707	16,0	26,8	25,1	24,1		16,9	0,14	0,04
	24/08/2017 02:03:19	20,5	24,657	16,0	26,7	25,1	24,1		16,8	0,14	0,03
	24/08/2017 02:18:19	20,5	24,640	16,0	26,7	24,9	23,9		16,7	0,14	0,03
	24/08/2017 02:33:19	20,5	24,640	16,0	26,6	24,9	23,9	0,15	16,7	0,14	0,03
	24/08/2017 03:03:19	20,5	23,635	16,0	26,5	24,9	23,9		16,9	0,14	0,04
	24/08/2017 03:18:19	20,7	23,015	16,0	26,5	24,8	23,8		17,2	0,14	0,05
	24/08/2017 03:33:19	20,7	22,513	16,0	26,5	24,8	23,9		17,3	0,14	0,06
	24/08/2017 04:03:19	20,9	22,245	16,0	26,5	24,8	23,8		17,5	0,13	0,07
	24/08/2017 04:18:19	20,8	21,993	16,0	26,4	24,8	23,9		17,5	0,14	0,07
	24/08/2017 04:33:19	20,8	22,228	16,0	26,4	24,8	23,9		17,4	0,14	0,06
	24/08/2017 05:03:19	20,7	22,864	16,0	26,4	24,8	23,9		17,2	0,14	0,05
	24/08/2017 05:18:19	20,6	23,082	16,0	26,3	24,7	23,8		17,1	0,14	0,05
	24/08/2017 05:33:19	20,4	23,384	16,0	26,3	24,7	23,8		16,9	0,14	0,04
	24/08/2017 06:03:19	20,3	23,936	16,0	26,2	24,6	23,7		16,6	0,14	0,03
	24/08/2017 06:18:19	20,2	24,087	16,0	26,2	24,6	23,6		16,5	0,14	0,02
	24/08/2017 06:33:19	20,1	24,255	16,0	26,2	24,6	23,6		16,4	0,14	0,02
	24/08/2017 07:03:19	20,1	25,611	16,0	26,3	24,5	23,5		16,2	0,13	0,01

	24/08/2017 07:18:19	20,3	24,673	16,0	26,3	24,8	23,7		16, 5	0,14	0,02
	<b>Valor Médio</b>	<b>20,8</b>	<b>23,528</b>	<b>16,2</b>	<b>26,7</b>	<b>25,8</b>	<b>24,9</b>	<b>0,15</b>	<b>17, 2</b>	<b>0,14</b>	<b>0,04</b>

#	Data/Hora	T3 [°C]	Fluxo de Calor [W/m2]	TAE [°C]	TAI [°C]	T2 [°C]	T4 [°C]	R vidro [m2°C/W]	θ se [°C]	Rsi [m2°C/W]	Rse [m2°C/W]
DIA 4	24/08/2017 22:18:19	21,2	18,007	18,0	26,2	24,8	24,0		18,4	0,16	0,02
	24/08/2017 22:33:19	21,0	18,492	18,0	26,1	24,7	23,9		18,2	0,16	0,01
	24/08/2017 23:03:19	20,6	19,548	17,0	26,0	24,6	23,7		17,7	0,16	0,03
	24/08/2017 23:18:19	20,5	19,916	17,0	25,9	24,5	23,5		17,4	0,15	0,02
	24/08/2017 23:33:19	20,3	20,452	17,0	25,8	24,4	23,4		17,2	0,15	0,01
	25/08/2017 00:03:19	20,0	21,072	16,0	25,7	24,2	23,2		16,8	0,16	0,04
	25/08/2017 00:18:19	19,8	21,323	16,0	25,7	24,2	23,2		16,6	0,16	0,03
	25/08/2017 00:33:19	19,7	21,608	16,0	25,6	24,1	23,1		16,4	0,16	0,02
	25/08/2017 01:03:19	19,5	21,960	16,0	25,5	23,9	22,9		16,1	0,16	0,01
	25/08/2017 01:18:19	19,4	22,178	16,0	25,5	23,9	22,9		16,0	0,16	0,00
	25/08/2017 01:33:19	19,3	22,462	15,0	25,4	23,8	22,8		15,9	0,16	0,04
	25/08/2017 02:03:19	19,1	22,714	15,0	25,3	23,7	22,7		15,6	0,16	0,03
	25/08/2017 02:18:19	19,0	22,848	15,0	25,3	23,6	22,6		15,5	0,16	0,02
	25/08/2017 02:33:19	18,9	22,998	15,0	25,2	23,6	22,5	0,15	15,4	0,16	0,02
	25/08/2017 03:03:19	18,8	23,317	15,0	25,2	23,5	22,4		15,2	0,16	0,01
	25/08/2017 03:18:19	18,7	23,384	15,0	25,1	23,4	22,4		15,2	0,16	0,01
	25/08/2017 03:33:19	18,6	23,467	15,0	25,1	23,4	22,3		15,1	0,16	0,00
	25/08/2017 04:03:19	18,5	23,702	14,0	25,0	23,3	22,2		14,9	0,15	0,04
	25/08/2017 04:18:19	18,4	23,836	14,0	24,9	23,2	22,1		14,8	0,16	0,03
	25/08/2017 04:33:19	18,3	23,869	14,0	24,9	23,2	22,1		14,7	0,16	0,03
	25/08/2017 05:03:19	18,2	23,853	14,0	24,8	23,1	22,0		14,6	0,16	0,03
	25/08/2017 05:18:19	18,2	23,802	14,0	24,7	23,0	21,9		14,6	0,16	0,02
	25/08/2017 05:33:19	18,2	23,920	14,0	24,7	23,0	21,9		14,6	0,16	0,02
	25/08/2017 06:03:19	18,1	24,271	14,0	24,6	22,9	21,8		14,4	0,15	0,02
	25/08/2017 06:18:19	18,0	24,439	14,0	24,6	22,9	21,8		14,3	0,15	0,01
	25/08/2017 06:33:19	18,0	24,506	14,0	24,6	22,9	21,7		14,2	0,15	0,01
	25/08/2017 07:03:19	17,8	25,310	14,0	24,5	23,0	21,7		14,0	0,15	0,00
	25/08/2017 07:18:19	18,0	26,131	14,0	24,7	23,3	22,2		14,1	0,16	0,00
	<b>Valor Médio</b>	<b>19,1</b>	<b>22,621</b>	<b>15,2</b>	<b>25,2</b>	<b>24,8</b>	<b>24,0</b>	<b>0,15</b>	<b>15,6</b>	<b>0,16</b>	<b>0,02</b>